Horst Eckel

STUDIEN ZUR MORPHOLOGISCHEN ENTWICKLUNG DER OSTPLATE SPIEKEROOGS

1975

1977

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547204_0017

Geographie

Studien zur morphologischen Entwicklung der Ostplate Spiekeroogs

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der

Philosophischen Fakultät

der

Westfälischen Wilhelms-Universität

zu

Münster (Westf.)

vorgelegt von

Horst Eckel

aus Wolfhagen-Istha

1974

Tag der mündlichen Prüfung: 7. 2. 1975

Dekan: Prof. Dr. BUDDE

Referent: Prof. Dr. HEMPEL

Korreferent: Prof. Dr. SCHREIBER

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Vorwort

Die Anfertigung der vorliegenden Arbeit geht auf die Anregung meines verehrten Lehrers, des verstorbenen Herrn Professors Dr. Dr. h. c. BLÜTHGEN, Münster, zurück. In allen Belangen stand er mir stets überaus hilfsbereit und fördernd zur Seite. Ihm gilt mein dankbares Gedenken. - Nach seinem Tode übernahm der bisherige Korreferent, Herr Professor Dr. HEMPEL, Münster, die Betreuung in sehr entgegenkommender Weise. Dafür bin ich besonders dankbar. - Mein Dank gilt auch Herrn Professor Dr. SCHREIBER, Münster, für sein Einspringen als neuer Korreferent.

Viele Personen und Institutionen haben mich bereitwillig unterstützt:

Herr Dr. MEIJERING, Schlitz, leistete wertvolle Hilfe, indem er auf Probleme hinwies, Anregungen gab sowie mir Unterlagen überließ und eigene Untersuchungsergebnisse mitteilte. - Herr Oberregierungsbaurat SCHWITTERS, Wasser- und Schiffahrtsamt Norden, verschaffte mir die Möglichkeit, in seinem Amte zu arbeiten und erfüllte, zusammen mit seinen Mitarbeitern, alle meine Wünsche nach Schrifttum, Bild-, Karten- und Zahlenmaterial. - Herr Oberbaurat ERCHINGER, Bauamt für Küstenschutz, Norden, gewährte mir ebenfalls Einsicht in alle gewünschten Unterlagen und stellte darüber hinaus neue Vermessungsdaten zur Auswertung zur Verfügung.

Durch Herrn Professor Dr. HARTUNG, Oldenburg, lernte ich die Mellum kennen. - Herr Professor Dr. DIRCKSEN, Bielefeld, bot mir Gelegenheit, an einer seiner Spiekeroog-Exkursionen teilzunehmen. Dabei erhielt ich von ihm und seiner Gattin wichtige Hinweise. - Herr MEYER-DEEPEN, Spiekeroog, machte mich auf interessante Fragen aufmerksam. - Die Herren EVEN, Außenstelle Spiekeroog des WSA Norden, und Kapitän DAMM, Spiekeroog, halfen durch zahlreiche Auskünfte. - Herr REDFERN, Leiter der Hermann-Lietz-Schule Spiekeroog, erlaubte mir die Durchsicht von Schülerarbeiten über die Insel.

Auf Veranlassung von Herrn Dr. POGADE, Deutscher Wetterdienst Hamburg, wurden Mikroaufnahmen von Archivkarten für mich angefertigt. Solche Aufnahmen lieferten auch die Staatsarchive Aurich und Oldenburg. - Luftbilder erhielt ich von HANSA Luftbild, Münster, und - neben Kartenmaterial - vom Niedersächsischen Landesverwaltungsamt, Abt. Landesvermessung. Beide Stellen waren bemüht, auf meine Wünsche einzugehen. - Von den Firmen SCHÖNING & CO, Lübeck, und CRAMERS Kunstanstalt, Dortmund, bekam ich alte und neue Ansichtskarten. - Mit Karten versorgten mich die Katasterämter Wittmund und Wilhelmshaven. - Das Wasser- und Schiffahrtsamt Wilhelmshaven bot Einblick in sein Unterlagenmaterial.

Frau Dr. WIEMANN, Hamburg, überließ mir ihre Spiekeroog-Arbeit. - Die OSTFRIESISCHE LANDSCHAFT, Aurich, besorgte Literatur. - Mit Schrifttum und Karten diente mir auch Herr Dipl.-Ing. LUCK, Forschungsstelle Norderney. - Herr Dr. MODEL, Deutsches Hydrographische Institut, Hamburg, gab Literaturhinweise. - Von Herrn Dr. SINDOWSKI, Amt für Bodenforschung, Hannover, erhielt ich Angaben zu Veröffentlichungen.

denforschung, Hannover, erhielt ich Angaben zu Veröffentlichungen. Herr Professor ROSENFELD, Münster, stellte mir im Geologischen Institut einen Arbeitsplatz zur Verfügung und beriet mich bei den Sandanalysen.

Von den Familien DAMM und LUKAS, Spiekeroog, wurde ich während meiner Inselaufenthalte immer freundlich aufgenommen.

Meine liebe Frau, meine Eltern und Schwiegereltern standen mir jederzeit mit vielfältiger Unterstützung sehr hilfreich zur Seite und trugen dadurch ganz entscheidend zum Zustandekommen der Arbeit bei.

Ihnen allen und den Ungenannten, die mir auf irgendeine Weise bei den Vorbereitungen und Untersuchungen behilflich waren oder Anteil daran nahmen, danke ich sehr herzlich!

Inhalt

		Seite
Vorwort		III
1	Aufgaben, Gang und Methoden der Untersuchung	1
1.1	Die Problemstellung und Zielsetzung	3
1.2	Die durchgeführten Untersuchungen und der Untersuchungsgang	6
1.3	Die angewandten Methoden	11
1.4	Das Untersuchungsgebiet (einschließlich des alten Inselteils): Lage, Größe und grobe Gliederung	15
2	Die morphologisch wirksamen Kräfte bzw. ihre Ausdrucksformen	23
2.1	Die Riffbogengestalt und ihre Bedeutung für die Materialanlandung	25
2.1.1	Die Bogenform	26
2.1.1.1	Die Ausrichtung der Gatrinne	28
2.1.1.2	Die Flutspeicher als gestaltende Faktoren	28
2.1.2	Die Bogenweite	33
2.1.2.1	Der Einfluß des Flutspeicherraumes	33
2.1.2.2	Die Gatbreite als weitebestimmender Faktor	33
2.1.2.3	Die Beziehung zwischen der Bogengestalt und der Inselstaffelung und -länge	36
2.2	Die Ausdrucksformen des Materialtransportes im Bereich des oberen Vorstrandes und des nassen Strandes	41
2.2.1	Die Großformen der Sandverfrachtung (= Das Riffverhalten im Annäherungs- und Anlandungsstadium)	42
2.2.1.1	Riffbewegung und -gestaltwandel	51
2.2.1.1.1	Die Verlagerungsgeschwindigkeit	51
2.2.1.1.2	Die Breiten- und Höhenentwicklung	52
2.2.1.1.3	Die Neigungsverhältnisse der Riffhänge	56
2.2.1.2	Die Riffanlandung und die Strandgestalt	58

2.2.1.2.1 Die horizontalen Strandveränderungen 60
2.2.1.2.2 Die vertikalen Strandveränderungen 63

2.2.1.3 Die Besonderheiten im Verhalten der Riffe der mittleren bis östlichen Anlandungszone 64

2.2.1.3.1 Formale Unterschiede 66
2.2.1.3.2 Die Anzahl der Riffe, ihr Abstand und ihre Verlagerungsgeschwindigkeit 71
2.2.1.3.3 Die morphologische Bedeutung der Unterschiede 75

2.2.2 Die Kleinformen der Materialverfrachtung 77

2.2.2.1 Die Voraussetzungen für die Entstehung und Entwicklung 77

2.2.2.2 Die morphologische Bedeutung der Transportfiguren 78

2.2.2.2.1 Die einzelnen Formen, ihre Verbreitung und der Transportumfang 78
2.2.2.2.2 Die Transportrichtungen und ihre Bedeutung 82
2.2.2.2.2.1 Die mittleren Bewegungstendenzen 82
2.2.2.2.2.2 Die kleinformatige Verfrachtung und der Riffversatz 90
2.2.2.2.2.3 Die Versatzbahnen 91

2.3 Der Wind als morphologisch wirksamer Faktor 95

2.3.1 Die Windverteilung aufgrund des reinen Meßdatenmaterials 96

2.3.1.1 Die zeitliche Verteilung 96

2.3.1.2 Die Windrichtungen 104

2.3.2 Die morphologische Bedeutung der Spiekerooger Windverhältnisse auf der Grundlage von n . Mv 105

2.3.2.1 Die Einführung von n . Mv und des Bedeutungsgesamtwertes 105

2.3.2.1.1 Das Verhältnis zwischen Windstärke und verfrachteter Sandmenge 105
2.3.2.1.2 Bisherige Methoden zur Bestimmung der morphologischen Bedeutung der unterschiedlich starken Winde der einzelnen Richtungen 109
2.3.2.1.3 Die Überlegenheit von n . Mv gegenüber diesen Methoden 110

2.3.2.2 Die morphologisch wichtigen Ergebnisse anhand von n . Mv und Schlüsse daraus 116

2.3.2.2.1 Die Bedeutung der einzelnen Richtungen für den Materialtransport (= Räumliche Bedeutungsverteilung) 116
2.3.2.2.2 Die Windstärke-Stufen im Jahresgang (= Zeitliche Bedeutungsverteilung) 119

2.3.2.2.3 Die monatliche und jährliche Bedeutung der einzelnen Sektoren unter Beachtung der jeweiligen Windwirkungsresultante (= Zusammenfassung der räumlichen und zeitlichen Bedeutungsverteilung) 122
2.3.2.2.3.1 Die Gewinnung der Windwirkungsresultanten 125
2.3.2.2.3.2 Das Ergebnis des Sektorenvergleichs und der Resultantenbestimmung 126

2.3.2.3 Die Überprüfung der nach n . Mv bestimmten Bedeutung der verschiedenen Abschnitte des Jahres 139

2.3.2.3.1 Die Erscheinungsformen anderer wichtiger Klimaelemente und ihre Beziehung zum Materialtransport 139
2.3.2.3.1.1 Lufttemperatur, Sonnenschein und Bewölkung 139
2.3.2.3.1.2 Niederschlag 142

2.3.2.3.2 Das Ergebnis der Überprüfung 145

3 Die Entwicklung der Ostplate zur "Strand-" und "Düneninsel" 149

3.1 Die Bildung der "Strandinsel Ostplate" 151

3.1.1 Das Entstehungsgebiet am Ausgang des Mittelalters 152

3.1.2 Die Bildung der frühen Sockelplate
(= Der Entwicklungsprozeß in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts) 152

3.1.2.1 Der Zustand der Öffnung zwischen Spiekeroog und Wangeroog 154
3.1.2.2 Die Lage und Bedeutung der frühen Sockelplate 155
3.1.2.3 Zur Platenbildung 165

3.1.2.3.1 Voraussetzungen 165
3.1.2.3.2 Die Anlage und Entwicklung der Platen 166

3.1.3 Die Sockelerweiterungsvorgänge und die Bildung der mittleren Sockelplate
(= Der Entwicklungszustand um die Mitte des 18. Jahrhunderts) 170

3.1.3.1 Der Zustand der Harlebucht und des Harlesystems 170
3.1.3.2 Die Auswirkungen auf die Sockelbildung und die Rückwirkungen auf das Harlewatt 172

3.1.4 Die weitflächigen Stabilisierungsvorgänge und die Bildung der jungen Sockelplate
(= Der Entwicklungszustand um die Mitte des 19. Jahrhunderts) 185

3.1.4.1 Die Veränderungen im Harlewatt 185

3.1.4.2 Die Ausweitungsvorgänge und Zusammenschlüsse 186
3.1.4.3 Die Sockelbildung in Gatnähe 188
3.1.4.4 Die Folgen im Bereich der Otzumer Balje, des westlichen und nordöstlichen Spiekeroogs 189

3.1.5 Die Entwicklung nach 1850 202

3.1.5.1 Die NW-Strand-Gefährdung zugunsten der Platenstabilisierung 203
3.1.5.2 Die Platenausweitung und das Verhalten des Harlegats 212
3.1.5.3 Die Auswirkung der Harle-Stabilisierung 213
3.1.5.4 Der Zustand der "reifen Strandinsel Ostplate" (= gegen Ende der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts) 220

3.2 Die Entwicklung der "Düneninsel Ostplate" 231

3.2.1 Das Ausgangsstadium 232

3.2.1.1 Die 2-Faktoren-Dünen 232

3.2.1.1.1 Die Zick-Zack-Streifen (einschließlich ihrer Vor- und Folgeformen) 232
3.2.1.1.1.1 Der Vorgang der Streifenbildung 232
3.2.1.1.1.2 Die weitere Entwicklung der Streifen 245
3.2.1.1.1.3 Die Umwandlung der Streifen in Barchane und das Streifenwandern 247

3.2.1.1.2 Die Zerstörung und ihre morphologische Bedeutung 249

3.2.1.2 Die unbeständigen 3-Faktoren-Dünen (= Die Hindernisdünen) 256

3.2.1.2.1 Die frühen Spülsäume SPa 257
3.2.1.2.2 Die Hindernisdünen auf der Grundlage isoliertliegender Gegenstände 261
3.2.1.2.2.1 Die Entwicklung der verschiedenen Anhäufungszonen 261
3.2.1.2.2.2 Das Verhalten bei Windwechsel 262
3.2.1.2.3 Die Hindernisdünen auf der Grundlage dichtliegender Gegenstände 266
3.2.1.2.3.1 Die beiden leeseitigen Anhäufungszonen und ihr Zusammenwachsen 267
3.2.1.2.3.2 Die Umformungen bei Windwechsel 268

3.2.2 Das Düneninselstadium I (= Die Frühformen der dauerhaften 3-Faktoren-Dünen) 270

3.2.2.1 Die Bedeutung der Spülsäume für die erste pflanzenbedingte Platenaufhöhung 270

3.2.2.1.1 Ihre Lage und Voraussetzung für die Ansiedlung von Pflanzen 270

3.2.2.1.2 Zu den Nährstoffverhältnissen und den sie bedingenden biochemischen und physikalischen Vorgängen 276

3.2.2.2 Die Pflanzen der Spülsäume SPb und Jünger 277

3.2.2.2.1 Ihre Bedeutung als Sandfänger und Dünenbildner 277
3.2.2.2.2 Ihr Beitrag zur Standortvorbereitung für die Dünengräser und die Platenaufhöhung 283

3.2.3 Das Düneninselstadium II
(= Die ersten Vollformen der dauerhaften 3-Faktoren-Dünen: die Strandweizendünen) 285

3.2.3.1 Die Voraussetzungen für die Begrünung der Aufhöhungsgebiete 285

3.2.3.1.1 Die Sandzufuhr aus den Akkumulationsgebilden der Säume SPb 285
3.2.3.1.2 Die Deichfunktion der SPb-Dünen 287
3.2.3.1.3 Die Nährstoffgrundlage der Standorte 288

3.2.3.2 Die Ansiedlung der Strandweizendünen
(= Die erste Begrünung der Aufhöhungsgebiete) 291

3.2.3.2.1 Die frühen Weizendünen auf unterschiedlich hohen Standorten unter besonderer Berücksichtigung der Aufhöhungsgebiete 292
3.2.3.2.2 Die Anhäufung und Verarbeitung des Flugsandes 294

3.2.3.3 Die Ausbreitung der Strandweizendünen
(= Die völlige Begrünung der Aufhöhungsgebiete) 306

3.2.3.3.1 Zur Form und Vereinigung der Dünen des optimalen Weizentyps 307
3.2.3.3.2 Die Vergrößerung der Aufhöhungsgebiete 308
3.2.3.3.3 Die Bedeutung der Weizendünenverbände für die Düneninselentwicklung 314

3.2.4 Das Düneninselstadium III
(= Die zweiten Vollformen der dauerhaften 3-Faktoren-Dünen: die Strandhaferdünen) 320

3.2.4.1 Die Ansiedlung des Hafers und die Voraussetzungen dafür 320
3.2.4.2 Der Hafer als Sandfänger 322

3.2.4.2.1 Die Vorgänge der Materialanhäufung 322
3.2.4.2.2 Die Korngrößen-Verhältnisse in den Anhäufungszonen bei anschwellendem Wind 327

3.2.4.3 Die Bedeutung der Haferdünen für die Aufhöhungsgebiete 331

3.2.5 Der gegenwärtige Entwicklungszustand der Ostplate und das zukünftige Aussehen ihres Formenschatzes 339

3.2.5.1 Die Verbreitungsgebiete der Dünenarten und ihre zu erwartenden Veränderungen 340

3.2.5.1.1 Die Zick-Zack-Streifen und barchanartigen Bildungen 340
3.2.5.1.2 Die Spülsaumdünen 343
3.2.5.1.3 Die Strandweizendünen 344
3.2.5.1.4 Die Strandhaferdünen 357

3.2.5.2 Zu den Dünen des zukünftigen Entwicklungsstadiums IV 370

3.3 Zusammenfassende Aufstellung: Die "Düneninsel"-Entwicklung der Ostplate und die Spiekerooger Dünenarten 385

Hilfsmittelverzeichnis 391

A Literatur 392

B Karten, Kartenwerke und -beschreibungen 414

C Luftbilder 418

AUFGABEN, GANG UND METHODEN DER UNTERSUCHUNG

1.1 Die Problemstellung und Zielsetzung

Im Rahmen der Küstenforschung im Gebiet der südlichen Nordsee haben die Vorgänge der Entstehung und Entwicklung der ostfriesischen Küste und ihrer Inseln seit über hundert Jahren den Gegenstand von zahlreichen Untersuchungen abgegeben. Diese sind aus der Sicht von Geologen, Geographen, Biologen, Wasserbautechnikern und Historikern erstellt worden. Ihre Les- und Vergleichbarkeit leidet daher etwas unter dem Umstand, daß vor allem in den älteren Untersuchungen keine einheitliche Nomenklatur vorliegt. Es werden abweichende und zum Teil widersprüchliche Bezeichnungen für die jeweils gleichen Erscheinungsformen der verschiedenen Strandabschnitte und Dünenzonen sowie die Kräfte gewählt, die bei ihrer Entstehung, Entwicklung und Gestaltung wirksam sind. - Um begriffliche Klärung haben sich VAN DIEREN (1934), GRIPP (1944, 1968) und LÜDERS (1967) bemüht; seine Nomenklatur für den nordwestdeutschen Küstenraum findet hier weitgehend Berücksichtigung.

Bei der Fülle der Arbeiten ist es unmöglich, auf die einzelnen Untersuchungen kritisch und zur Würdigung des Beitrags einzugehen, den sie für den Fortgang der Erkenntnisse geleistet haben. Grundlegende Veröffentlichungen zum Gesamtkomplex bzw. zu wichtigen Einzelfragen:

> GERHARDT (1900), REINKE (1909), SOLGER (1910), BRAUN (1911), ORDEMANN (1912), JESSSEN (1914), BEHRMANN (1919), JANSSEN (1933), GAYE/WALTHER (1933/36), VAN DIEREN (1934), ISBARY (1936), WILDVANG (1936), BACKHAUS (1943), HAARNAGEL (1950), LÜDERS (1953), SINDOWSKI (1961), HEYKENA (1965).

Zum Alter der ostfriesischen Inselkette, also zum "Wann" ihrer Entstehung, sind zahlreiche Überlegungen und Untersuchungen angestellt und z. T. endgültige Ergebnisse mitgeteilt worden. Die Frage nach den Vorgängen und Formen, die sich bei der Bildung und Entwicklung der Inseln im einzelnen ergeben, sowie ihrer zeitlichen Abfolge und den Gründen dafür, also zum "Wie" der Entstehung, liegt der Fall etwas anders.

Zwar sind die Entwicklungsabläufe dem Prinzip nach bekannt. Eine in die Tiefe und Breite gehende Klärung der verschiedenen Phasen des Prozesses der Strandinsel- und Düneninselwerdung und der dabei jeweils zustande kommenden typischen Formen fehlt jedoch bisher oder hat sich nur auf Teilabschnitte beschränkt.

Zur Frage der Darstellung von frühen Entwicklungsabläufen einschließlich der Einzelvorgänge, die für das Aussehen der heutigen ostfriesischen Inseln und ihrer Dünen wichtig sind, lassen sich allerdings auch nur schwer Aussagen machen:

a. Wenn sie weitgehend allein auf der Basis von mehr oder weniger theoretischen Überlegungen gegeben werden, besteht naturgemäß von vornherein die Gefahr von Fehlschlüssen.

b. Das gilt auch teilweise für Verfahren, wobei Erkenntnisse übertragen werden, die anhand des Formenschatzes oder der Genese anderer dünentragender Inseln und Küstenstriche gewonnen worden sind.

c. Selbst über Rückschlüsse aus der jetzigen Gestalt der ostfriesischen Inseln die frühen Aufhöhungs- und Begrünungsstadien und die

sich in ihnen einstellenden Formen genetisch zu analysieren und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Inselwerdung zu beurteilen, scheidet die Gefahr von Fehlschlüssen nicht ganz aus.

Daß diese indirekten Wege beschritten werden müssen, ist folgendem Umstand zuzuschreiben: Die Möglichkeit zur unmittelbaren Untersuchung der Vorgänge, die sich bei der frühen Düneninselbildung und -entwicklung abspielen, besteht im augenblicklichen Zustand der ostfriesischen Inseln nur noch in beschränktem Umfang oder gar nicht mehr, denn diese stellen Endformen der Inselwerdung dar: Die gesamte ostfriesische Küste ist - zusammen mit der westfriesischen - als reife Watt-Nehrungsinselreihen-Küste anzusprechen (VALENTIN, 1954).+)

Eine Ausnahme liegt in Gestalt der Spiekerooger Ostplate vor. Trat diese noch vor wenigen Jahrzehnten und stellenweise sogar noch heute gleichsam als Strandinsel (= unbegrünte Sandplate, die nur mit ihren höchsten Teilen deutlich über das mittlere Hochwasser emporragt) in Erscheinung, so stellt sie sich jetzt in weiten Teilen als werdende Düneninsel unterschiedlicher Enwicklungsstufen dar:

Als Beweis für das Fehlen von Begrünung im Zusammenhang mit dauerhafter Dünenbildung vor 1945 können nicht nur der erste Luftbildplan Spiekeroogs (1938), alte Flugzeugaufnahmen in Form von Postkarten und Aussagen von Insulanern dienen. - Auch die nur wenigen Literaturstellen, in denen die Ostplate Erwähnung findet, lassen sich anführen: ORDEMANN (1912) stellt noch keine Spur von Pflanzen fest; lediglich vor dem Ostrand des alten Dünengeländes fallen ihm flache Dünenbildungen auf. Diese sind aber als Ausläufer des besagten Dünengebietes anzusehen und nicht als junge, dauerhafte Aufhöhungsformen der Ostplate. Auch JANSSEN (1933), der sich als erster näher mit diesem Teil Spiekeroogs befaßt, stellt völlige Pflanzenfreiheit fest. Das gilt selbst noch für BACKHAUS (1943).

Da die einzelnen, und zwar die entscheidenden Phasen des Prozesses der Inselwerdung, gleichsam vor unseren Augen ablaufen, bietet die Ostplate eine günstige Gelegenheit: Viele Fragen, die damit in Zusammenhang stehen, können auf direktem Wege beantwortet werden. Es braucht also nicht nur - wie in der Literatur über die ostfriesischen Inseln vielfach gehandhabt - die besagte vergleichende bzw. allein rückschließende Untersuchungsmethode angewandt zu werden.

+) Innerhalb des VALENTINschen Systems der Küstengestalttypen zählt sie zu zu den vorgerückten Küsten; unter diesen ist sie der Untergruppe der aufgebauten Küsten zuzurechnen, und zwar dem anorganisch gestalteten, thalassogen Typ.

Nach LÜDERS (1953) sind die ostfriesischen Inseln aus "freien Strandwällen" entstanden, die sich auf den seeseitigen Rändern der einer sandigen Gezeiten-Flachküste (großer Tidenhub) vorgelagerten breiten Watten gebildet haben.

Nach LOUIS (1965) gehört die ostfriesische Küste im ganzen zur zweiten Gruppe der Seichtwasserküsten (Wassertiefe weithin unter 5 m), nämlich zur Seichtwasserküste in gezeitenreichen Gewässern ("Wattenküste"). Die ihren Außensaum bildende Inselreihe ist als Strandwallküste anzusprechen, d. h. der zweiten Gruppe der kräftig geprägten Tiefwasserküsten zuzuzählen; für sie ist eine gut ausgebildete Schorre typisch.

Die Frage, ob die Spiekerooger Ostplate im Bereich der ostfriesischen Inseln tatsächlich so günstige Untersuchungsmöglichkeiten bietet wie keines der anderen Glieder der Inselkette, ist zu bejahen. Die einzigen Gebiete, die ihr auf den ersten Blick zu ähneln scheinen, sind der Memmert, die Lütje Hörn und die Mellum. Bei näherer Betrachtung halten diese einem Vergleich jedoch nicht stand, denn sie stehen - vornehmlich aufgrund ihrer Lage außerhalb bzw. am Rande der Hauptbahnen der submarinen Sandwanderung einschließlich der dominierenden Winde - in einem viel schlechteren Verhältnis zu den Kräften, von denen die einzelnen Vorgänge der Inselwerdung und die sich dabei einstellenden Formen bestimmt werden, als das stärker exponierte Spiekeroog.

Zu einem Vergleich mit der Ostplate bieten sich neben den genannten "unreifen" Inseln auch die meist auf kleine Areale beschränkten Dünenbildungsgebiete an, wie sie auf vielen ostfriesischen Inseln bestehen. Sie befinden sich dort vor allem auf den Strandflächen vor dem Ostrand des Gesamtdünengeländes, wenn diese über eine genügende Breite und Höhe über MThw verfügen. Daneben machen sie sich vornehmlich an den westlichen Rändern der offenen Verbindungen zwischen den meer- und wattseitigen Abschnitten bemerkbar, wie sie in den mittleren und östlichen Teilen einiger Inseln auftreten. Diese werden bei extrem hohen Wasserständen überflutet und grenzen Anhäufungskomplexe gegeneinander ab, die in Gestalt von weit über die Anfangsstadien der Entwicklung hinausgewachsenen Dünengruppen bestehen.

Aufgrund ihrer Lage in der Nachbarschaft älterer und entsprechend hoher Dünengebiete, weisen sie - was die einzelnen Aufhöhungs- und Begrünungsvorgänge und das Auftreten der sie erzeugenden Kräfte betrifft - zum Teil erheblich andere Bedingungen auf, als sie im Bereich der Ostplate gegeben sind. Das hat zur Folge: Der Prozeß der Inselwerdung läuft unter Auslassung von typischen Stadien mit den für sie charakteristischen Vorgängen und Formen ab. Außerdem spielt er sich mehr oder weniger punktuell ab, d. h. nicht unter Einwirkung des ganzen Strandes.

Die Spiekerooger Ostplate erfährt daher auch von dieser Seite keine Einschränkung hinsichtlich ihrer Bedeutung als ein im Bereich der ostfriesischen Inselkette gleichsam einmaliges Studienobjekt.

Das ist Veranlassung, anhand von Untersuchungen des räumlich-zeitlichen Wirkungsgefüges von geomorphologischen Formen der Ostplate und der Faktoren, die sie erzeugen und gestalten, zu fragen:

> Wie bildet sich eine nur teilweise episodisch, sonst periodisch überflutete Strandinsel ohne dauerhafte Anhäufungsformen am Rande des Wattenmeeres?
>
> Wie entwickelt sich diese Insel zu einer größtenteils völlig und endgültig überflutungsfreien Düneninsel mit lagestabilen und durchweg weitgehend unvergänglichen Anhäufungsformen?

1.2 Die durchgeführten Untersuchungen und der Untersuchungsgang

Folgende Untersuchungen sind zur Klärung dieser Fragen im einzelnen durchzuführen, und folgender Weg ist dabei zu beschreiten:

Der erste Hauptteil (Gliederungspunkt 2) befaßt sich mit den morphologisch wirksamen Erscheinungen des hydrologischen und klimatologischen Bereichs im Raum Spiekeroog. Diese beherrschen hier den gesamten Energie- und Materialhaushalt; sie bereiten den Standort für die einzelnen Aufhöhungs- und Begrünungsvorgänge vor und stellen das Anhäufungsmaterial bereit bzw. verfrachten es in sein Akkumulationsgebiet. Daher wirken sie teilweise stärker auf die Abläufe des Emporwachsens und der Dünenbildung ein als die Pflanzen selber bzw. gestatten sie überhaupt erst. Aus diesem Grund ist ihre Untersuchung eine unerläßliche Voraussetzung für die Analyse der Entwicklungsstadien der Strand- und Düneninselwerdung und deren jeweils charakteristischen Formenschatz.

Die Untersuchung erfolgt zum Teil direkt, wie im Falle des Windes und einiger anderer wichtiger Klimaelemente. Zum Teil wird aber nur auf die Ausdrucksformen als Voraussetzungen für die Inselbildung und -entwicklung eingegangen, und zwar aus folgendem Grund:

Die hydrologischen Kräfte Gezeitenströme, Küstenströmung, Brandung und kleinräumig wirksame Strömungserscheinungen sind weitgehend bekannt und treten im Untersuchungsgebiet in keiner speziellen Form auf. Ihre Darstellung erübrigt sich daher. Sie sollen nur mittelbar aufgezeigt werden, indem einige auf ihnen basierende Formen der Materialverfrachtung Beachtung finden, die für die Entstehung von Strand- und Düneninseln im allgemeinen und für die von Ostplate und Spiekeroog im besonderen sehr bedeutsam sind.

Der erste Abschnitt (2.1) geht auf eine solche indirekte Einwirkung der hydrologischen Kräfte ein: Er befaßt sich mit der Riffbogengestalt und ihrer Bedeutung für die Lage der Anlandungszone sowie den Folgen daraus für die Inselentwicklung.

Die Riffbogengestalt der Otzumer Balje und ihr Verhalten hängen unmittelbar mit der Bildung und Entwicklung des mittleren bis östlichen Spiekeroogs und besonders mit der Entstehung der Ostplate als "Strandinsel" zusammen. Um diesen Zusammenhang unten bei den einzelnen Entwicklungsphasen der Platenwerdung richtig erfassen und auswerten zu können, muß vorweg geklärt werden, welchen Gesetzmäßigkeiten die Bogengestalt und ihre Veränderungen im Falle der Otzumer Balje besonders und der eines Gats generell unterliegen. Dazu ist die Betrachtung teilweise auf die derzeitige Gestalt der Gats und Riffbögen auch anderer Inseln auszudehnen. Die Passage zwischen Borkum und Juist bleibt unberücksichtigt, weil die strömungsdynamischen Verhältnisse zum Teil erheblich von denen der östlicheren Gats abweichen.

Es stellen sich folgende Fragen:

a. Welche Form nimmt ein Bogen unter welchen Voraussetzungen an?
b. Welche Faktoren bedingen das Auswölbungsmaß, also die gesamte Weite des Bogens?

c. Welche Beziehung besteht zwischen Form und Weite einerseits und Insellänge und -staffelung andererseits?

Der zweite Abschnitt (2.2) befaßt sich in zwei Kapiteln mit den Vorgängen und Folgen des Sandtransportes im Bereich des oberen Vorstrandes bis unteren trockenen Strandes:

Die Großformen der Materialzufuhr (2.2.1)

Es wird der Annäherungsprozeß und das In-den-Strand-Aufgehen der ankommenden Glieder des Riffbogens der Otzumer Balje aufgezeigt, und zwar Art und Umfang ihres Gestaltwandels unter Berücksichtigung der ihn bedingenden Faktoren. In erster Linie geht es um die Anlandung im Gebiet der westlichen Anlandungszone.

Folgende Fragen sind zu beantworten:

a. Wie verhält sich der Abstand zwischen dem Riffschwerpunkt (= durchweg höchster Abschnitt des Riffrückens) und dem inselseitigen Ausgangspunkt der Messungen?
b. Welche Veränderungen erfährt die Riffbreite in Höhe von MTnw und MThw?
c. Wie ändert sich die Riffhöhe im Bereich des Schwerpunktes, und zwar zum einen insgesamt, d. h. von der Verfrachtungssohle bis zum Kamm, und zum anderen oberhalb von MTnw und MThw?
d. Wie verhalten sich die Größen-, Neigungs- und Oberflächenverhältnisse von Luv- und Leehang?
e. Welche Veränderungen der Neigungsverhältnisse und Breitenentwicklung sowohl positiver als auch negativer Art ergeben sich im Bereich des nassen und unteren trockenen Strandes?

Zur Vervollständigung der Darstellung des auflandigen Materialtransportes im Gebiet des Nordstrandes wird dann noch die Sandzufuhr in den Ostteil der Anlandungszone des Riffbogens und in das zugehörige Strandgebiet betrachtet. Sie findet allerdings nur soweit Berücksichtigung, wie sie sich formal und quantitativ von der geschilderten Zufuhr in den Westteil unterscheidet und von besonderer Bedeutung für die Entwicklung der Ostplate ist. - Auf die Materialbewegungen im Bereich des Westkopfes wird später nur kurz im Zusammenhang mit Weiteveränderungen des Otzumer-Balje-Riffbogens und den Folgen daraus für die Insel bzw. Plate eingegangen (Kapitel 3.1.4).

Die Materialzufuhr in Kleinformen (2.2.2)

Der kleinformatige Figurenschatz wird an Riffen im Bereich des Nordstrandes untersucht, bei denen es sich um Glieder der mittleren Anlandungszone des Riffbogens handelt.

Anhand dieses Figurenschatzes ist zu fragen:

a. Welche Kenntnis der submarinen Materialbewegung ganz allgemein vermitteln die Details der Transportform?
b. Erfolgt die Verlagerung der einzelnen Sandkörner mit höherer Geschwindigkeit als die Riffbewegung?

c. Welche Bewegungsrichtungen liegen vor?

d. Wie verhält sich der Teil des Bogenmaterials, der auf kürzestem Wege der Inselaufhöhung förderlich ist, größenmäßig zu jenem Teil, der vor allem im Bereich des nassen Strandes ostwärts versetzt wird? Anders ausgedrückt: Welche Schlüsse ergeben sich bezüglich des Verhältnisses zwischen dem Umfang des direkt wirksamen Aufbaumaterials und dem jenes Sandes, der - wenn überhaupt - nur mit zeitlicher und räumlicher Verzögerung der positiven Inselgestaltung dient?

Im dritten Abschnitt (2.3) werden die Spiekerooger Windverhältnisse auf ihre morphologische Bedeutung hin untersucht. Es ist zunächst zu fragen:

Welche Beziehung besteht im Untersuchungsgebiet zwischen den Windstärken und der Materialmenge, die - in welcher Form auch immer - dabei jeweils verfrachtet wird, welche tatsächliche Transportleistung geht also von den einzelnen Stärken aus?

Darauf aufbauend wird - mit Hilfe einer neu einzuführenden Berechnungsmethode (n . Mv) und u. a. den auf ihr beruhenden monatlichen und jährlichen Windwirkungsresultanten - der morphologische Bedeutungsgesamtwert aller Winde bestimmt. Dies ist wichtig für Entstehung und Wachstum der Insel im allgemeinen und ihrer Dünen im besonderen. Unter Berücksichtigung der Herkunft und Häufigkeit kann die Frage beantwortet werden:

In welchem Monat wird von den Winden welcher Richtung bzw. welchen Sektors und, infolgedessen, in welchem Inselteil die meiste Aufhöhungsarbeit geleistet, und wie groß ist die Bedeutung dieser Winde damit für den Inselwerdungsprozeß?

Die gefundenen Ergebnisse werden anhand der Bedeutung anderer morphologisch wirksamer Klimaelemente (Niederschlag, Lufttemperatur, Sonnenschein und Bewölkung) für den Materialtransport und die Dünenvegetation überprüft.

Im zweiten Hauptteil (Gliederungspunkt 3) geht es um den Prozeß der Strandinsel- und Düneninselbildung und -entwicklung des Objekts Ostplate:

Im ersten Abschnitt (3.1) werden Anlage und Wachstum der "Strandinsel Ostplate" und die direkt bzw. indirekt wirksamen Faktoren untersucht; es wird also gleichsam nach der Sockelbildung der "Düneninsel Ostplate" gefragt.

Mißt man die Plate am Alter des westlichen Inselteils oder an dem der anderen Glieder der Inselkette, so erweist sie sich als sehr junge Bildung. Es liegt daher nahe zu fragen, wieso es in diesem Gefüge aus zwar stellenweise deutlich überformten und veränderten, im ganzen aber alten Formen zu einer derartigen Bildung kommen kann:

a. Hat im Bereich der Entstehung ein Kräftevakuum vorgelegen, das von plateerzeugenden Kräften aufgefüllt worden ist, oder

b. haben sich solche Kräfte zusätzlich hier entwickelt und dann so an Dominanz gewonnen, daß die bestehenden überlagert bzw. zum Ausweichen gezwungen worden sind?

Um festzustellen, ob eine dieser Möglichkeiten oder beide wann eingetreten und wie abgelaufen sind, wird das Gebiet zwischen Spiekeroog und Wangeroog einschließlich des Wattenraums beider Inseln zu verschiedenen Zeitpunkten schwerpunktmäßig betrachtet (= Ausgang des Mittelalters, erste Hälfte des 17. Jahrhunderts, Mitte des 18. und 19. Jahrhunderts sowie einzelne Phasen danach).

Dabei kommen die Änderungen des Systems der Otzumer Balje, des Harlesystems, des Seegats Harle sowie die Verlandungsgeschichte der Harlebucht zur Sprache, die bereits mehrmals Gegenstand von Untersuchungen war (SCHUCHT, 1911; JESSEN, 1922; JANSSEN, 1933; SCHÜTTE, 1937; WOEBCKEN, 1943; HOMEIER, 1969). Die darin teilweise mitgeteilten konträren Ansichten, daß entweder die Lage und Größe der vorgelagerten Inseln von der Buchtentwicklung abgehangen haben oder daß der Lage- und Gestaltwandel der Inseln erst die Ursache für die Buchtverlandung gewesen sind, werden im Rahmen der genannten Fragen überprüft.

Der zweite Abschnitt (3.2) versucht, die einzelnen Stadien aufzuzeigen, die von der Ostplate - nachdem sie das Reifestadium der Strandinsel erreicht hat - im Rahmen der Entwicklung zur Düneninsel durchlaufen werden. Das geschieht anhand des jeweiligen Dünen-Formenschatzes der Plate überhaupt und des ihrer einzelnen Aufhöhungsgebiete im besonderen, auf denen bzw. von denen aus das vertikale und horizontale Wachstum als Folge fortschreitender Begrünung vonstatten geht. Der Formenschatz wird unter Berücksichtigung der ihn bestimmenden Faktoren betrachtet. Der wattseitige Verlandungsprozeß (Endstadium: weitgehend überflutungssicherer Heller) findet - zumindest in seinen wichtigsten Phasen - ebenfalls Beachtung.

Das Ausgangsstadium der Düneninselbildung (3.2.1) stellt die Frage nach

a. den völlig lageinstabilen, jedoch als Materiallieferanten in gewissem Umfang bedeutsamen Akkumulationsgebilden (Zick-Zack-Streifen und barchanartige Formen) und

b. den ersten leicht beständigen Formen (Hindernisdünen) im Bereich der frühen Spülsäume.

Eine fertige Düneninsel bietet zur Untersuchung und Entwicklung derartiger Gebilde viel beschränktere Gelegenheit als die Plate. Der überflutungsfreie Strand ist nämlich meistens viel zu schmal; die instabilen Formen können sich nicht voll entfalten. Außerdem verlaufen die Spülsäume extrem hoher Fluten unmittelbar am Fuß oder sogar im unteren Hangbereich der steilen Rand- bzw. Kliffdünen, so daß Hindernisdünen nur bedingt entstehen können. Das gilt auch für die Frühformen der dauerhaften Dünenbildung des nächsten Stadiums.

Das erste Düneninselstadium (3.2.2) steht im Zeichen der Hindernisdünen der jüngeren, höher gelegenen Spülsäume und vor allem der für sie typischen Frühformen der dauerhaften Dünenbildung. Es wird dabei nach der

Funktion und Bedeutung gefragt, die sie für die weitere Entwicklung der Aufhöhungsgebiete durch stabilere Dünenformen haben.

Danach (zweites Düneninselstadium, 3.2.3) sind die Formen der Ansiedlung und Ausbreitung von Strandweizendünen als erste Vollformen dauerhafter Dünenbildung aufzuzeigen. Im Zusammenhang damit geht es vor allem um die Fragen, wie, in welchem Umfang und mit welcher Bedeutung für die weitere Entwicklung der Gesamtgestalt der Ostplate die Begrünung und Vergrößerung der Aufhöhungsgebiete erfolgen.

Anschließend (drittes Düneninselstadium, 3.2.4) kommen der Strandhafer und seine Dünen (= 2. Vollformen der dauerhaften Dünenbildung) als Zeichen der ersten Reifung der "Düneninsel Ostplate" zur Sprache. Das geschieht unter besonderer Beachtung des Materialfangs im Bereich dieser Dünen.

Die Frage nach dem derzeitigen gesamten Entwicklungszustand (3.2.5) des Untersuchungsgebietes und damit nach der Verbreitung und dem Umfang, in dem die Formen der einzelnen Entwicklungsstadien jetzt noch nebeneinander auftreten, schließt den Abschnitt 3.2 ab. Daran wird sichtbar, daß das nächste, letzte Stadium der Düneninselwerdung, wie es für den westlichen Teil Spiekeroogs sowie die anderen Inseln typisch ist (viertes Düneninselstadium = Reifestadium: Silbergrasfluren mit Krähenbeerenheide u. ä. als Folgevegetation des Strandhafers; formale Besonderheiten: hohe Dünenketten mit Anti- und Haldendünen), im Bereich der Ostplate zur Zeit noch nicht vorliegt. Es wird aber unten vorausschauend zu skizzieren versucht, und zwar in Anlehnung an den derzeitigen Formenschatz des Westteils der Insel und seine Entwicklung.

Der wattseitige Verlandungsprozeß, wie er sich in der weitgehend gesetzmäßigen Abfolge typischer Pflanzengesellschaften (Quellerr, Andelgras, Pflanzen des jungen Heilers, Pflanzen des reifen Heilers) darstellt, wird in 3.2 nur am Rande beachtet. Denn: Diese Entwicklung spielt für die frühe Düneninselwerdung zuerst keine und dann eine weitgehend untergeordnete Rolle.

In 3.3 ("Düneninsel"-Entwicklung der Ostplate und die Spiekerooger Dünenarten) wird abschließend ein zusammenfassender Gesamtblick auf die abgeschlossenen, gegenwärtigen und bevorstehenden Entwicklungsstadien des Untersuchungsgebietes einschließlich der jeweils typischen Formen gegeben. Dabei finden auch der Entwicklungszustand und Formenschatz des alten, westlichen Inselteils Berücksichtigung.

Aufgrund der Ergebnisse, die im Rahmen des geschilderten Untersuchungsganges zu erzielen sind, läßt sich nicht nur die Frage nach dem Werden des alten Spiekerooger Inselteils weiter klären. Es werden auch Antworten auf Fragen nach dem "Wie"

a. der heute weitgehend abgeschlossenen Entwicklung der übrigen "reifen" und

b. der zukünftigen Entwicklung der noch unfertigen, weil weniger exponierten Glieder der ostfriesischen Inselkette möglich.

1.3 Die angewandten Methoden

... zur Klärung der Fragen des ersten Hauptteils:

zu 2.1 (Riffbogengestalt)

Die Untersuchung der Riffbogengestalt und ihrer Veränderungen sowie der direkten bzw. indirekten Voraussetzungen und Folgeerscheinungen basiert auf Zahlenmaterial des WSA Norden und des Bauamtes für Küstenschutz in Norden sowie eigener Datenerstellung auf der Grundlage von Karten- und Luftbildauswertung.

zu 2.2.1 (Riffannäherung und -anlandung)

Es wurden die Profile Nr. 46 (westlicher Teil der Anlandungszone des Riffbogens; Lage: in Höhe der Weißen Dünen) und Nr. 50 (mittlerer bis östlicher Teil der Anlandungszone; Lage: in Höhe jener Stelle, wo die nördliche Randdüne allmählich nach SO umbiegt) der Spiekerooger Strandpeilungen des WSA Norden ausgewählt. Sie liegen ungefähr 1000 m auseinander und dehnen sich bis etwa 800 m senkrecht zum Meer aus. Die Ausgangspunkte sind genau eingemessene Schraubpfähle auf dem oberen trockenen Strand. Der Abstand der Meßpunkte von 20 m reicht aus, um ein Bild des Strandes und der ankommenden Riffe zu gewinnen. Es entspricht im ganzen den tatsächlichen Verhältnissen; im Detail sind kleine Ungenauigkeiten nicht auszuschließen. Das wird im Zusammenhang mit der Bestimmung der Neigungsverhältnisse der Riffhänge deutlich. Besonders dem Abfall des Leehangs kommt möglicherweise oft ein zu geringer Umfang zu.

Der Untersuchungszeitraum beträgt zehn aufeinanderfolgende Jahre. Da Wert darauf gelegt wurde, daß innerhalb dieser Zeitspanne sowohl der Zeitpunkt einer Riffannäherung mit stärkster negativer Strandentwicklung als auch der Zeitpunkt des endgültigen Aufgehens des gleichen Riffs in den Strand mit dem daraus resultierenden Strandzustand Berücksichtigung fanden, wurde auf die Jahrgänge 1933 bis 1942 zurückgegriffen. Die Meßreihen dieser Zeit weisen nämlich seewärts nicht nur über die MTnw-Linie hinaus, sie liegen auch - im Gegensatz zu vielen Reihen jüngeren Datums - allesamt vollständig vor.

Um zu überprüfen, ob die ermittelten Resultate nicht bloß ein ungefähres, weil auf einem verhältnismäßig begrenzten Zeitraum basierendes Bild der Anlandung von Riffen geben, sondern ein gesetzmäßiges Annähern und In-den-Strand-Aufgehen anzeigen, wurden - hier nicht dargestellte - Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. Sie beruhen auf der Auswertung verschiedener neuerer Meßreihen des Profils Nr. 46 und der benachbarten Profile (untersuchte Jahrgänge: 1950 - 1953, 1955, 1956, 1960 - 1963, 1964, 1968 und 1969).

zu 2.2.2 (Kleinformatiger Materialtransport)

Die Aussagen zum kleinformatigen Materialtransport im Bereich von Riff-luv, -kamm und -lee und die Folgerungen daraus u. a. zu den Fragen des Strandversatzes fußen auf Beobachtungen an Strandriffen im Gebiet der

mittleren Anlandungszone des Riffbogens während der Sommer- und Herbstmonate 1969 bis 1971.

zu 2.3 (Spiekerooger Windverhältnisse)

Die Darstellung der Windverhältnisse stützt sich auf Spiekerooger Werte und schaltet damit die Ungenauigkeit aus, die den für verschiedene Stationen des gesamten Inselbereichs gemittelten Ergebnissen innewohnt. Nur für einige kurze Zeiträume, für die Daten fehlten, wurde auf die Ablesungen von Norderney (35 km entfernt) zurückgegriffen.

Bei dem ausgewerteten Zahlenmaterial handelt es sich um Messungen (= Angaben über die augenblickliche Windrichtung und -geschwindigkeit in Bft um 8, 14 und 20 Uhr eines jeden Tages) des selbstschreibenden Spiekerooger Windmessers, die dieser vom Frühjahr 1948 bis zum Ausfall im Frühjahr 1967 über 20 Jahre hin fast ohne Unterbrechung geliefert hat. Auf Vorkriegsdaten und solche nach 1940 wurde verzichtet, denn sie stellen keine auch nur einigermaßen unterbrechungsfreie Reihen dar. Außerdem beinhalten sie Abweichungen gegenüber den Angaben nach 1948, weil der Windmesser bis Kriegsende seinen Platz weiter im O hatte und daher weniger exponiert war als heute. Er steht nun im äußersten W der Insel unmittelbar hinter dem Übergang von Spundmauer und Rauhdeckwerk. Die Meßapparatur befindet sich in etwa 15 m Höhe.

Zur Bestimmung der Transportleistung von Winden unterschiedlicher Stärke wurden Sandfallen aufgestellt und das eingewehte Material ausgewertet. Dazu: Abschnitt "Sandentnahme und -fang" (zu 3.2 - b.).

... zur Klärung der Fragen des zweiten Hauptteils:

zu 3.1 (Strandinselbildung und -entwicklung)

Die einzelnen Entwicklungszustände wurden folgendermaßen erschlossen:

Die frühen Zustände basieren vor allem

a. auf zeitgenössischen Karten, Kartenbeschreibungen und Segelanweisungen sowie

b. hydrodynamischen Überlegungen.

c. Hinzu kommt das Bild des Küstenraums, wie es mit Hilfe statistischer Methoden (Zeit-Weg-Pläne) angefertigt werden kann und teilweise in der Historischen Karte Nr. 7 der Niedersächsischen Küste seinen Ausdruck gefunden hat.

Zur Ermittlung der jungen Zustände dienten außerdem

d. Material des WSA Norden (verschiedene alte Peilpläne; Rekonstruktionen ehemaliger Wattkonfiguration),

e. Wattkarten und frühe Luftbildpläne.

d. Außerdem finden aus der Literatur besonders die Angaben von JANSSEN (1933) und BACKHAUS (1943) Beachtung.

zu 3.2 (Düneninselentwicklung)

Die Arbeitsmethoden zum Fragenkomplex der Dünensinselwerdung sind sehr vielfältig; nur die wichtigsten werden hier kurz angeführt:

a. Geländeuntersuchungen zu verschiedenen Jahreszeiten zwischen 1969 und 1972:

Es wurden dabei der Verlauf von MTnw-, MThw- und Sturmflutlinie, das Strandwallverhalten, die allgemeine Verteilung und das Alter der Sandmassen im Raum, die Exposition und das Ausmaß der jungen und jüngsten Dünenentstehungsgebiete einschließlich des Grades, der Dichte und Pflanzenabfolge des Bewuchses sowie die Umlagerungs- und Abbruchserscheinungen beobachtet.

Zufällige oder beabsichtigte Kontroll- und Vergleichsstudien erfolgten auf den meisten der ostfriesischen Inseln einschließlich der Mellum, an der flandrischen Dünenküste (Plaine Maritime Flamande) und in Bornholms Dünengebiet Strandmarkens sowie den Räth-Lias aufgelagerten Flugsandfeldern nördlich von Rønne.

b. Sandentnahme und -fang:

An verschiedenen Stellen des Strandes und Dünengeländes wurden Materialproben entnommen (z. B. zur Bestimmung des Sandniederschlags durch Strandhafer oder des Kalkgehalts bzw. pH-Wertes) und die Sandfangvorgänge abgewickelt, wie sie im Zusammenhang mit den Untersuchungen der Windverhältnisse (= windbedingter Materialtransport) unten angegeben werden.

Der Sandfang erfolgte unter Verwendung etagenförmiger Fallen (= flache stapelfähige Plastikkästen für DIN A4/A3-Papier), die in den einzelnen Stufen seitlich versetzt und leicht abgeschrägt gegen den Wind aufgestellt wurden, um ein Herauswirbeln von Körnern zu vermeiden. Die Abstände zur Strömungssohle richteten sich nach der Fragestellung.

Als Separierungsmethode zur Feststellung der absoluten Fraktionsgrößen fand das mechanische Siebverfahren Anwendung (Plansiebmaschine Typ EML; Prüfsiebe nach DIN 4188, Maschenweite: 0,63 - 0,3 - 0,2 - 0,1 - 0,063 mm = "kleiner Siebsatz" des Amtes für Bodenforschung Hannover). Es wurden pro Analyse 150 g Sand verwandt, um die größenmäßige Bestimmung besonders der kleinsten bzw. größten Fraktion zu erleichtern.

c. Auswertung eines Höhenplanes der Ostplate:

Die vom Bauamt für Küstenschutz Norden in 1969 - zum ersten Male überhaupt - durchgeführten Vermessungen beinahe aller Teile der Ostplate standen zur Auswertung zur Verfügung.

d. Karten- und Luftbildinterpretation:

Was die Karten betrifft, kommt selbst dem Meßtischblatt nur geringe Bedeutung zu, denn es stellt - sogar in den letzten Ausgaben - die dünenbedingten Aufhöhungserscheinungen und die wattseiti-

ge Verlandungszone der Ostplate lediglich andeutungsweise und außerdem teilweise lage- und größenmäßig ungenau dar. Das gilt auch für weite Teile des westlichen Dünengebietes. Es ist vielfach nicht einmal generalisiert, sondern nur schematisch verzeichnet.

Als bedingt tauglich erwiesen sich auch die großmaßstabigsten nautischen Karten. Von den Seegats abgesehen, geben sie die inselnahen Gebiete, die für die Klärung von Fragen der marinen Sandwanderungsvorgänge sehr wichtig sind, durchweg nicht detailliert wieder.

Günstige Arbeitsunterlage war in diesem Zusammenhang dagegen die Topographische Wattkarte (hier: Nr. 7; auf Normalnull bezogen). Sie stellt das Gebiet vor den Inseln - trotz seines häufigen Gestaltwandels - sehr aufschlußreich dar. Das gilt in noch stärkerem Maße für den sonst kartographisch etwas vernachlässigten Wattenraum.

Luftbild-Schräg- und Senkrechtaufnahmen, wie sie in Form von 1. käuflichen Postkarten, 2. unentzerrten Senkrechtaufnahmen sowie 3. entzerrten, maßstabgerechten Luftbildplänen unterschiedlichen Alters vorliegen, spielten neben und bei der Feldarbeit eine wichtige Rolle. Sie dienten als Hilfe bei den Vorstudien zu Geländeuntersuchungen und erfuhren später eine Ergänzung und Überprüfung vor Ort. Sie wurden außerdem zur Kontrolle und Vertiefung der bei den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse herangezogen. Daneben fanden sie als eigenständiges Arbeitsmaterial Verwendung, wenn keine direkte Untersuchungsmöglichkeit (= durch Begehung oder vom Schiff aus) bestand.

Gerade im letzten Fall waren die Luftbilder sehr nützlich: Sie lassen zumindest den oberen Vorstrand und seine Formen der Materialbewegung unvergleichlich viel besser hervortreten als alle vorgenannten Arbeitsmittel. Soweit sie in zeitlich kurzen Abständen aufgenommen sind, vermitteln sie sogar noch einen ausgezeichneten Eindruck von den Veränderungsvorgängen im abgebildeten Gebiet.

1.4 Das Untersuchungsgebiet (einschließlich des alten Inselteils): Lage, Größe und grobe Gliederung (Abb. 1 - 4)

Spiekeroog verfügt über die geographischen Koordinaten 53°44'17" N und 7°41'47" O (Schnittpunkt: alte Inselkirche).

Im W wird die Insel durch die Otzumer Balje von Langeoog getrennt. Indem diese den Riffbogen gestaltet, sorgt sie für die Anlage und Form der Riffanlandung auf den Spiekerooger Nordstrand und damit für die ständige Materialzufuhr ins Untersuchungsgebiet. Die Balje ist in Höhe von MThw 2,4 km breit und erreicht eine maximale Tiefe von gut 20 m. Der Rand des Spiekerooger Inselsockels fällt an der schmalsten Stelle auf 1,3 km um 22,5 m zu ihr ab (durchschnittliche Neigung: 1,7 %). Dabei ist die durch nur geringe Pendelbewegungen zum Strand oder zur Balje gekennzeichnete Mittelplate, deren Abfall zum Seegat fast ständig 1,2 km von der Spiekerooger Strandbefestigung entfernt liegt, mitberücksichtigt worden.

Im O grenzt Spiekeroog an das Seegat Harle. Es schränkt das ostwärtige Wachstum der Ostplate ein und läßt an deren seeseitiger Spitze den Riffbogen entstehen, der für die Materialzufuhr an den Wangerooger Strand sorgt. Das Gat weist an der engsten Stelle ein Ausmaß von 2,6 km auf; seine maximale Tiefe liegt bei über 30 m. Der östliche Sockelrand der Ostplate fällt zu ihr auf 1,2 km gut 32 m ab (durchschnittliche Neigung: 2.7 %).

Seewärts schließt sich dem nassen Spiekerooger Nordstrand, der im östlichen Teil mit 0,8 km sein Breitenmaximum (durchschnittliche Neigung hier: 0,33 %) erreicht, bis -9,0 m NN (= Seelinie) das Vorstrandgebiet an. Es ist im Mittel 2,8 km breit (durchschnittliche Neigung: 0,27 %) und fällt mit wachsendem Abstand zur Insel immer stärker ab. Damit zeigt es den oberen Teil des seeseitigen, glatten und wenig gegliederten Randes des gesamten Wattenraumes an. - Der Vorstrand ist durch die wichtigsten Vorgänge der ostwärtigen Sandwanderung bestimmt. Diese drückt sich im zackigen Verlauf der mit ihren Spitzen in Inselnähe mehr oder weniger stark nach O und anschließend nach NO vorspringenden Isobathen aus und reicht ungefähr bis zur -7,5 m NN-Linie.

Auf der Südseite geht die Insel ins Spiekerooger Inselwatt über. Es ist im Mittel 1 km breit und ragt in allen Teilen über 0 m NN (= ca. -1,3 m MThw) empor. Im SW wird es von der die eigentliche Otzumer Balje wattwärts fortsetzenden Schillbalje begrenzt, zu der der SW-Rand der Insel auf kürzeste Entfernung sehr steil abfällt. Im S erfährt das Inselwatt zunächst durch die Swinnbalje (= der östlich Arm der Schillbalje) seine Begrenzung. Weiter östlich besteht diese in Form der Swinnplate, die den inselnahen Teil der Spiekerooger Wattwasserscheide darstellt. Den südöstlichen Rand bilden die Alte Harle und die sie stellenweise nach S fortsetzende Muschelbalje.

Südwestlich, südlich und südöstlich der genannten Rinnen schließen sich mehrere Wattpartien an, die dem Inselwatt der Höhe nach ungefähr entsprechen: der Janssand und die Martensplate (Mindesthöhe ihrer zentralen Teile: 0 m NN = ca. -1,3 m MThw) sowie die Bakenplate und der Harlesieler Rücken (max. Höhe: -0,5 m NN = ca. -1,8 m MThw). Soweit sie nicht durch weitere baljenartige Rinnen als südliche Verlängerungen der See-

gats unterbrochen sind, stehen sie mit den ins Deichvorland übergehenden oder direkt an den Festlandsdeich stoßenden Wattflächen (Hariesieler Watt, Seriemer Watt) in Verbindung.

Der kürzeste Abstand zwischen Spiekeroog und dem Festland beträgt 5,9 km (= SW-Spitze der Insel bis Neuharlingersiel). Zwischen dem Südrand der Ostplate und der Küste ergibt sich eine Entfernung von 6,2 km. Dieser Wert liegt in Höhe der Spiekerooger Wattwasserscheide vor. Sie wird durch den an der Südseite der Plate (Entfernung bis zur Ostspitze bzw. zum Ostrand des SO-Hakens des alten Dünengeländes: je ca. 2,8 km) vorgelagerten Teil des Inselwatts, die Swinnplate, die Hohe Bank und das Hariesieler Watt im NNO des Anlegers Harle gebildet und verläuft im ganzen ungefähr nach SSO. Nur an der tiefsten Stelle zwischen Swinnplate und Hoher Bank (= Übergang zwischen Landbalje im W und Muschelbalje im O) reicht sie an die -1 m NN-Linie (= ca. -2,3 m MThw) herab.

Der Flutspeicherraum hat bis zum Langeooger Wattrücken in überflutetem Zustand (MThw bei normalen Windverhältnissen) eine Ausdehnung von etwa 71 qkm und bei mittlerem SpTnw eine Fläche von ca. 11 qkm. Rechnet man den westlichen Teil des von der Harle versorgten Wattengebietes hinzu, der vom Spiekerooger Wattrücken bis zur Wangerooger Nebenscheide reicht und eine ca. 38 bzw. 8 qkm große Wasserfläche darstellt, so ergibt sich bei MThw eine Gesamtfläche von ca. 109 qkm. Das MSpTnw-Gebiet macht insgesamt 19 qkm aus.

Die Spiekerooger Ostplate hat die Gestalt eines Dreiecks, das auf dem Kopf (= auf der Ecke C) steht und dessen Seiten a/c einen spitzen Winkel bilden:

Abgesehen vom östlichsten, OSO-gerichteten Abschnitt weist die Seite c (= der meerseitige Platenrand von der Ostspitze bis zum Strandgebiet im NNO der großen Peilbake; Standort: nordöstliches Randdünengebiet des alten Inselteils) einen fast genauen W-O-Verlauf auf. Ihre Gesamtlänge beträgt 5,5 bis 6 km. - Die Seite b (= Übergang zum westlichen Inselteil; vom Strandgebiet im NNO der großen Peilbake an bis zum Wattrand etwa 2,4 km OSO der Lietzschule) richtet sich NNW-SSO aus und ist knapp 3,5 km lang. Sie verläuft in ihrem seeseitigen Abschnitt diagonal über den Nordstrand, dann teilweise parallel zu den NO-Randdünen und quert in ihrem wattseitigen Teil den jungen Heller am Übergang zwischen westlicher Insel und Ostplate. - Die Seite a (= Begrenzung zur NO-Ecke des östlichen Watts der Otzumer Balje, zur Auftreffzone der Wasserscheide und zum nordwestlichen Abschnitt des westlichen Harle-Watts) ist WSW-ONO-orientiert und gut 4,5 km lang. Sie bildet zusammen mit der Seite c den besagten spitzen Winkel (= etwa 30 Grad); dieser schließt den Bereich der Ostspitze der Plate ein.

Unter den ostfriesischen Inseln darf Spiekeroog nicht nur wegen seiner Ostplate als Besonderheit bezeichnet werden. Es ist auch hinsichtlich des Aufbaus und der Struktur des westlichen Inselgebietes hervorzuheben. Seine wesentlichen Landschaftselemente Strand, Dünen und Heller zeigen sich "... in geradezu schulmäßiger Einfachheit und Klarheit" (SCHRADER, 1965). Was die Gleichmäßigkeit ihrer Anlage und Größe betrifft, sind die einzelnen Dünenwälle und -täler nirgends sonst so deutlich ausgeprägt. Das gilt auch für die Anlage des SW-Dünenhakens (= Süderdünen), der das Heller-Neuland im S der Lütjeoog-Dünen umgreift, und besonders für den SO-Dünenhaken (= Quellerdünen), der den Ostheller umfaßt bzw. sich fächerförmig in ihn vorschiebt. Beide Haken dehnen sich

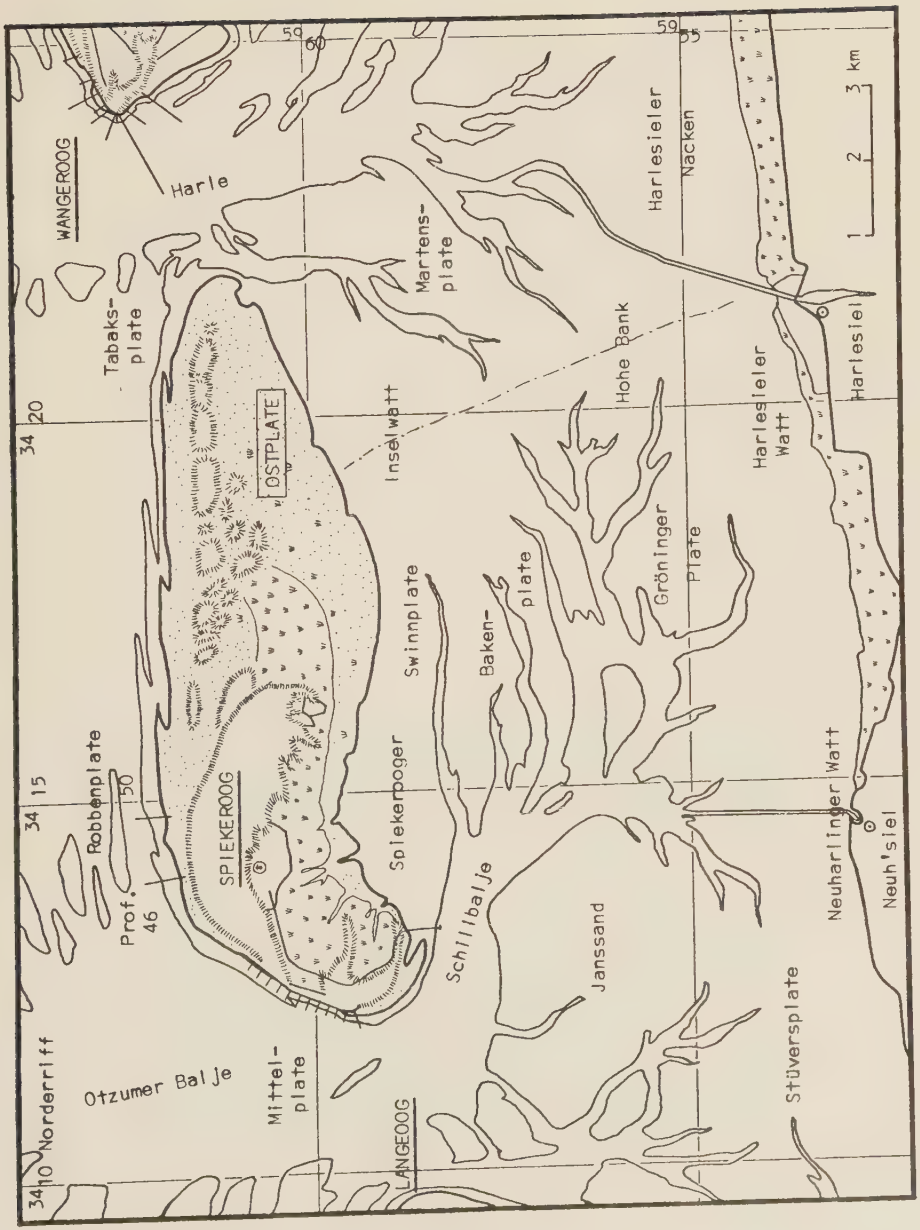


Abb. 1: Lageplan des Untersuchungsgebietes

weit wattwärts aus und beschreiben zusammen mit dem Dünengelände fast einen Halbkreis. Dadurch gewinnt der westliche Inselteil eine Nierenform.

Gemessen vom NW-Ende der Süderdünen bis zur Ostspitze der Plate erreicht die Insel oberhalb von MThw eine W-O-Erstreckung von fast 10 km. Davon entfallen 4,5 km auf den westlichen Inselteil und 5,5 km auf die Plate. Sie nimmt noch um 0,5 km zu, wenn man weiter nördlich mißt, d. h. dort, wo der NO-Rand des westlichen Inselteils immer weiter nach W zurückweicht. Die N-S-Erstreckung beträgt 2,7 km; diese Ausdehnung liegt in Höhe des Übergangs zwischen dem westlichen und mittleren Platengebiet vor. Der Westteil Spiekeroogs ist selbst an seiner breitesten Stelle in Höhe des Dorfes und westlich davon nur 2,2 km breit.

Die gesamte Inselfläche oberhalb von MThw hat eine Größe von ungefähr 21 qkm; auf die Ostplate entfallen davon heute etwa 12,5 qkm.

Das westliche Dünengelände, das maximal etwa 1 km breit und 3,8 km lang ist, hat einschließlich der Lütjeoog-Dünen eine Größe von 4,3 qkm. Es stellt eine beträchtliche Flugsandanhäufung auf engstem Raum dar. Dazu trägt nicht nur die verhältnismäßig große durchschnittliche Dünenhöhe (15 - 20 m) bei, auch folgender Umstand ist von Bedeutung: Im Gegensatz zu den meisten ostfriesischen Inseln fehlen ausgedehnte, aus früheren Strandflächen hervorgegangene, jetzt dünenfreie Ebenen. - Berücksichtigt man auch noch das Dünengebiet der Ostplate (Länge der zentralen Teile einschließlich aller offenen See-Watt-Passagen: 4 km; mittlere Breite: gut 450 m), auch wenn dieses längst nicht ebenso hoch ist, so kommt insgesamt ein 6,5 qkm großes, weitgehend endgültig überflutungssicheres Anhäufungsareal zustande.

Das Salzwiesengebiet des Hellers hat ohne den 0,3 qkm großen, eingedeichten Richel eine Gesamtgröße von etwa 3,5 qkm. Rechnet man das junge Hellergebiet der Ostplate hinzu, das südlich der Lietzschule beginnt und sich weit nach OSO und vor allem nach O und ONO ausdehnt, so ergibt sich eine Gesamtfläche von etwa 6,5 qkm. - Da der junge Heller zumindest auf der westlichen bis mittleren Ostplate bereits bis zu den Dünen des zentralen Platengebietes reicht, weist hier das Untersuchungsgebiet schon jetzt einen frühen Zustand der typischen, N-S-gerichteten Dreiergliederung des "reifen" westlichen Inselteils auf: Strand, Dünen und Heller.

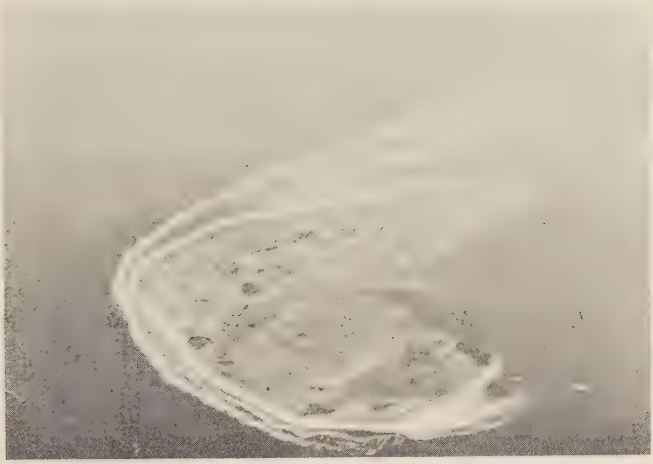


Abb. 2

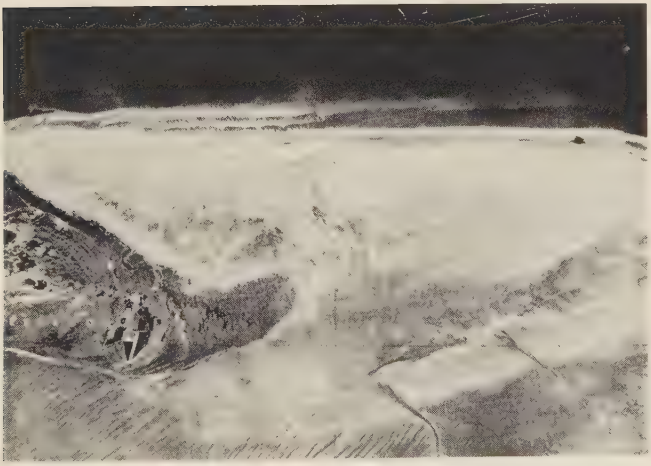


Abb. 3

Abb. 2: Insel Spiekeroog mit Ostplate, um 1960 (Blick ONO, Flutstand ca. + 1,40 m MThw)

Abb. 3: Östliches Spiekeroog und Ostplate, 1966 (Niedrigwasser)

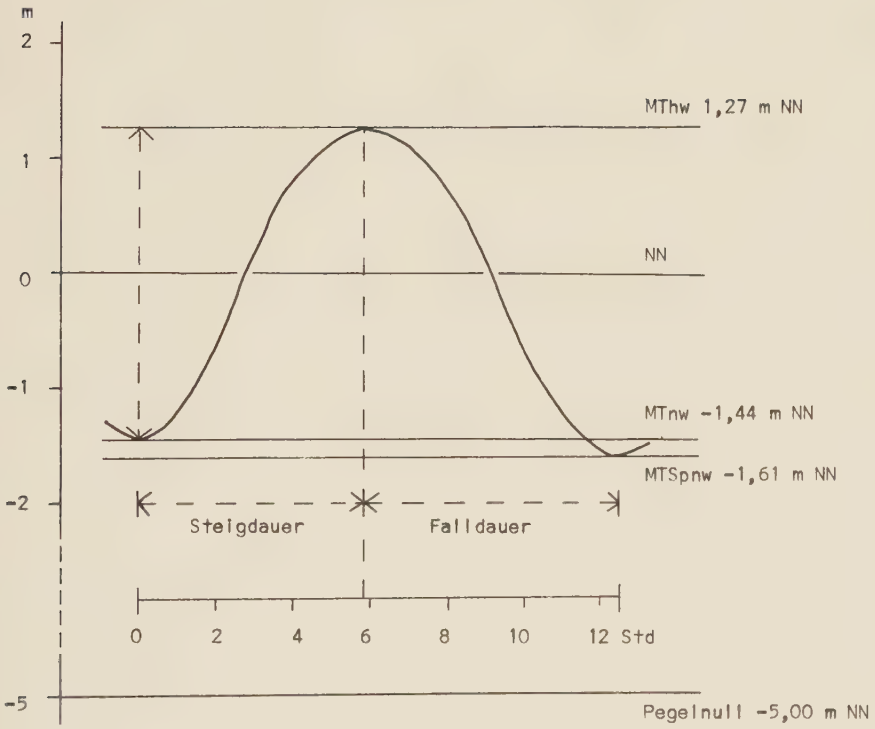


Abb. 4: Normale Tidekurve für Spiekeroog

2

DIE MORPHOLOGISCH WIRKSAMEN KRÄFTE BZW. IHRE AUSDRUCKSFORMEN

2.1 Die Riffbogengestalt und ihre Bedeutung für die Materialanlandung

2.1.1 Die Bogenform

Der Riffbogen der Otzumer Balje ist vorwiegend das Produkt des Ebbestroms: Seine hohe Strömungsintensität[+)] und infolgedessen sein starres Transportvermögen sind der Grund dafür, daß der Gezeitenreststrom und der vorwiegend aus W und NW anlaufende Seegang zeitweilig an Bedeutung verlieren und das ostwärts setzende Wandermaterial des Strand- und Vorstrandbereichs daher meerwärts abgelenkt wird.

Da das ausströmende Wasser das Gat selber am stärksten formt, ist es geboten, den Verlauf der Gatrinne[++)] als Bedingung für die Bogenform und somit jede Verlaufsänderung als Auslöser für eine Formveränderung anzunehmen.

Um festzustellen, ob es sich hierbei tatsächlich um eine gesetzmäßige Beziehung handelt und wenn ja, wie sie sich im einzelnen ausdrückt, muß zunächst nach jenem Faktor gefragt werden, der das Verhalten des Rinnen-Gestaltungsfaktors bestimmt. Die Frage heißt: Von welchem Faktor hängt die Richtung des Ebbestromes beim Verlassen des Wattes in erster Linie ab, und wie wirkt er sich - indirekt - auf die Gatrinne und Bogenform aus?

+)

Nach Messungen der Forschungsstelle Norderney (Teil I, 1955; Teil II, 1961) ergeben sich in der Hauptrinne der Otzumer Balje westlich der Mittelplate (in Verlängerung der Buhne AF; Fläche im Querschnitt: 7.700 qm) folgende Mittel- und Spitzengeschwindigkeiten in der Meßlotrechten:

	Ebbe	Flut	
Mittel:	0,95	0,75	m/sek
Max.:	1,18	0,83	m/sek

Der Ebbestrom bewegt sich also im Mittel um 26,7 % und in der Spitzengeschwindigkeit sogar um 42,2 % schneller als der Flutstrom.

++)

Zur Kennzeichnung ihres Verlaufs wird nicht der Querschnitt an der engsten Stelle zwischen den flankierenden Inseln zugrunde gelegt; es geht vielmehr um den gesamten Rinnenabschnitt unterhalb der -5,00 m NN-Linie (= ca. -3,40 m MSpTnw). Selbst wenn im seeseitigen Gatbereich Nebenrinnen auftreten, ist der besagte Rinnenabschnitt als repräsentativ für die Ausrichtung der ganzen Passage anzusehen.

	Norderneyer S'gat			Wichter Ee			Accumer Ee			Otzumer Balje			Harle		
	WTw	WTo	ges	WTw	WTo	ges	WTw	WTo	ges	WTw	WTo	ges	WTw	WTo	ges
W+ (= Wasserfl. in Höhe MThw)	67,9	35,8	103,7	17,9	11,2	29,1	11,9	77,1	89,0	21,9	50,1	72,0	37,4	44,8	82,2
W- (= Wasserfl. in Höhe MSpTnw)	20,6	3,9	24,5	2,5	1,1	3,6	2,6	9,9	12,5	4,5	6,2	10,7	12,9	4,1	17,0
$Wm = \frac{W- + W+}{2}$ (Ø - Wasserfl.)	43,3	20,9	64,1	10,2	6,2	16,4	7,3	43,5	50,8	12,2	29,2	41,4	25,2	24,5	49,6
Wm in %	67,5	32,5	100	62,3	37,7	100	14,3	85,7	100	29,5	70,5	100	50,7	49,3	100

Tab. 1: Die Größe der von den einzelnen Seegats abhängenden Wattenflächen (in qkm)

2.1.1.1 Die Ausrichtung der Gatrinne

Es geht nicht um die Faktoren 1. natürliches meerwärtiges Gefälle des Vorstrandes, 2. Beschleunigung infolge der Stromeinengung im Gat und 3. Ablenkung durch den auflaufenden Strom bzw. die inselparallelen Strömungen gegen Ende der Ebbephase. Gemeint ist der Faktor Wattengebiet, wie er sich in den beiden Flutspeicherräumen ausdrückt, die zu jedem Gat gehören. Ihre Begrenzung ist nach W und O bekanntlich durch die Wasserscheide 1. Ordnung und gegeneinander durch die Scheide 2. Ordnung gegeben. Die Speicher werden im folgenden als WTw (= westlicher Wattenteil) bzw. WTo (= östlicher Wattenteil) bezeichnet.

Im Zusammenhang mit der Ebbestrom-Ausrichtung, dem Gatverlauf und der Bogenform interessiert nur die Relation, die sich aus der Größe beider Speicher zueinander ergibt. Es geht hier nicht - wie unten bei der Bogenweite und ihrer Veränderung - um das tatsächliche Fassungsvermögen.

Je deutlicher einer der beiden Speicher den anderen größenmäßig übertrifft, umso stärker beeinflußt er den Lauf des Ebbestroms im Gat und daher auch mittelbar Rinnausrichtung und Bogenform. Die Beeinflussung geschieht im Sinne jener Fließrichtung, die vom Wasser beim Verlassen des dominierenden Speichers bis ins Gat hinein vornehmlich beschrieben wird. Wegen ihres geringeren Umfangs können die Wassermassen aus dem kleineren Speicher beim Eindringen ins Gat und beim Durchfließen nämlich nicht so richtungsbestimmend wirksam werden. Es entsteht daher kein Rinnenverlauf, der in seiner Ausrichtung gleichsam die direkte Verlängerung der wichtigsten Rinne dieses Wattenteils darstellt.

Im ostfriesischen Wattbereich müßte eigentlich jeweils der WTo der größere sein, denn:

a. Wegen der zeitlichen Verzögerung, die der Flutbeginn nach O hin erfährt und besonders bei langgestreckten Inseln ins Gewicht fällt (Differenz zwischen dem Flutbeginn in Langeoog-West und Langeoog-Ost: etwa 5 min), kann das auflaufende Wasser in den Speicherraum der einzelnen Gats jeweils nicht so weit nach W und SW vordringen wie nach O und SO.
b. Der Flutstrom ist bestrebt, beim und vor allem nach dem Passieren des Gats seine ursprüngliche, schräg auflandige Ausrichtung weitgehend beizubehalten.
c. Die vorherrschenden westlichen Winde begünstigen den Wassertransport nach O; sie unterstützen den Flutstrom und verstärken deshalb die Füllung des WTo.

Der WTo übertrifft jedoch nur bei einem Teil der Gats den WTw; daher ergeben sich zwei Gatgruppen.

2.1.1.2 Die Flutspeicher als gestaltende Faktoren

Beide Gruppen verfügen über eine typische Rinnenausrichtung und Bogenform:

Typ I = der WTo dominiert (Abb. 5)

Das Gat richtet sich auf NzW bis NNW aus (Accumer Ee: NzW, Otzumer Balje: NzW/N, Harle: NNW). - Der Bogen wendet sich aus dem Ursprungsgebiet, das - anders als beim Bogen des Typs II - nicht sehr weiträumig gefächert ist und im N bzw. NNO des Ostendes der Ausgangsinsel liegt, nach NzW bis NNW. Dann läuft er in fast gleichmäßiger Krümmung südostwärts auf die Zielinsel zu. Er landet dort auf dem westlichen bis mittleren Nordstrand an.

Der Gesamtform nach kann der Bogen als das Segment eines Kreises angesprochen werden, dessen Mittelpunkt im Bereich des NW-Randes der Zielinsel oder leicht davor liegt.

Typ II = der WTw dominiert (Abb. 6)

Das Gat richtet sich auf NzO aus (Norderneyer Seegat, Wichter Ee).+) - Der Bogen geht aus einem weitflächigen Ursprungsgebiet nordöstlich des Endes der Ausgangsinsel hervor. Er beschreibt eine Bahn, die zunächst nach N bis NzO verläuft und dann - erst in Höhe des Westkopfes der Zielinsel - in flachem Bogen nach OSO auf den mittleren Nordstrand schwenkt.

Der gedachte Kreismittelpunkt ist im Inselwatt südlich des Westkopfes anzunehmen.

Wie die unterschiedliche Lage der Anlandungszonen erkennen läßt, wirkt sich das Verhältnis zwischen den beiden Speichern eines Gats über den Rinnenverlauf und die Bogenform mittelbar auf die Entwicklung der östlichen Insel aus. Ist der WTo der größere Wattenteil, wird die Entwicklung des westlichen bis mittleren Teils und - auf dem Wege über den strandparallelen Materialversatz - auch die des Ostteils der Insel begünstigt; ein stabilisierender und aufbauender Einfluß besteht. - Bestimmt der WTw die Rinne und den Bogen, wird der mittlere bis östliche Inselteil positiv beeinflußt.

Die Folgen aus der Einwirkung von WTo sind auch aus einem anderen Grunde günstiger als die auf der Grundlage von WTw: Die Gatrinne ist bei WTo-Dominanz längst nicht so NW-Strand-bezogen; sie verstärkt daher nicht auch noch vom Watt her die beträchtliche Gefährdung, der dieses Gebiet sowieso schon durch die auflaufenden Strömungen ausgesetzt ist.

+)
Daß der WTw des Norderneyer Seegats der größere ist, hängt mit dem Verlauf des Festlandsrandes zusammen: Er springt westlich von Hilgenriedersiel sehr viel stärker nach S als vorher. Da die vorgelagerten Inseln der Richtungsänderung nicht folgen, vergrößert sich der Flutspeicher nach W hin auf kurzer Strecke ganz erheblich.

Die Wichter Ee verfügt über den NNO-Verlauf, weil Baltrum zu klein ist, um eine deutliche Verzögerung der Wassermassen, die durch die Accumer Ee setzen, nach W hin zu bedingen. Die Grenze zwischen dem WTo der Wichter Ee und dem WTw der Accumer Ee verläuft infolgedessen fast in Höhe der Mitte Baltrums.

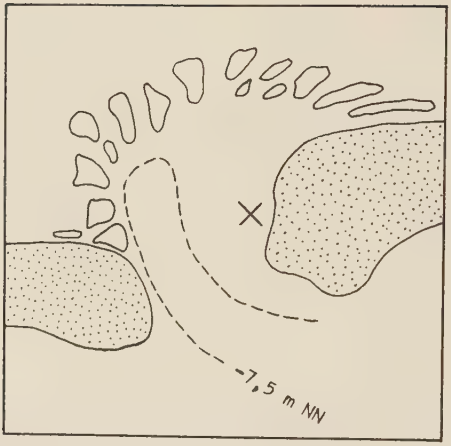


Abb. 5: Typ I = der WTo dominiert, Gatrinnenausrichtung: NzW bis NNW

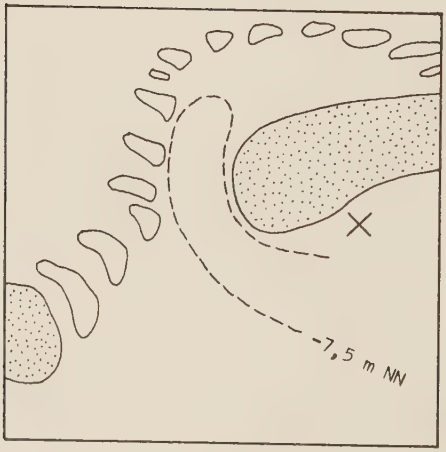


Abb. 6: Typ II = der WTw dominiert, Gatrinnenausrichtung NzO

Abb. 7a

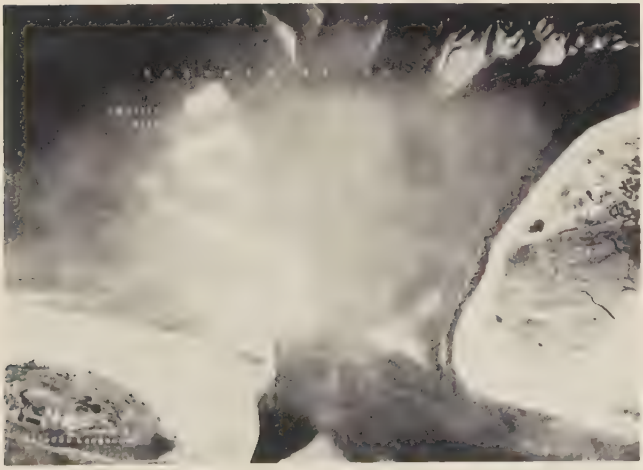


Abb. 7b

Abb. 7a: Wichter Ee zwischen Norderney und Baltrum (Gattyp II) und Accumer Ee zwischen Baltrum und Langeoog (Gattyp I), um 1953

Abb. 7b: Zwischen dem Ostende Langeoogs und dem mittleren Nordstrand Spiekeroogs: Riffbogen der Otzumer Balje (1951)

Aus dem Gesagten folgert: Es besteht eine gesetzmäßige Abhängigkeit zwischen der Wattgestalt, der Rinnenausrichtung und der Form jenes Weges, den das Wandermaterial um den Ausmündungstrichter des Gats herum nimmt.

2.1.2 Die Bogenweite

2.1.2.1 Der Einfluß des Flutspeicherraumes

Bei Klärung der Frage nach den Gründen, die für die Bogenform primär verantwortlich sind, ging es um das Verhältnis von WTo und WTw zueinander. Jetzt ist im Zusammenhang mit der Bogenweite, d. h. dem Gesamtumfang der seewärtigen Auswölbung der Riffbahn, das absolute Fassungsvermögen beider Speicher zu berücksichtigen (Abb. 8).

Je größer ihr Volumen ist, je mehr Wasser sie bei jeder Tide aufnehmen können, umso stärker fließt der Ebbestrom und umso weitflächiger gestaltet sich das Mündungsdelta vor dem Gat. Der Bogen wölbt sich entsprechend weit meerwärts aus. Er tut das aber im großen und ganzen immer unter Beschreibung jener Form, die durch die Rinnenausrichtung vorgegeben ist.

> So übertrifft der Bogen des Norderneyer Seegats nach der Weite den der Wichter Ee ganz erheblich, denn sein Wattgebiet ist ungleich größer. Der Form nach stimmt er aber ziemlich mit ihm überein; beide haben ja einen weitflächigen WTw.

Daraus resultiert, daß die Weite gleichsam die Bedeutung vergrößert oder verringert, die der Bogenform als positiv oder negativ wirksamer Faktor für die morphologische Entwicklung der Zielinsel zugesprochen wurde: Ein weiter Bogen des Formtyps II schiebt die Anlandungszone zwar weiter ostwärts als ein weiter Bogen des Formtyps I und begünstigt daher die Entwicklung des Ostteils. Er ist aber gleichzeitig Zeichen dafür, daß

a. der Westkopf durch den verstärkten Ebbestrom am Sockel mehr abgebaut wird und
b. das westliche Dünengebiet infolge der verringerten Sandzufuhr sich stärker rückläufig entwickelt.

2.1.2.2 Die Gatbreite als weitebestimmender Faktor

Das Fassungsvermögen des Flutspeichers ist nicht nur direkt für die Bogenweite verantwortlich, sondern auch indirekt über die Gatbreite. Es besteht allerdings keine gesetzmäßige Abhängigkeit zwischen der Auswölbung der Riffbahn und der engsten Gatstelle in Höhe des mittleren Wasserspiegels (Abb. 9, Kurve a). Erst wenn man die Bogenweite zum mittleren Gatquerschnitt (GQm) in Beziehung setzt (Abb. 9, Kurve b) läßt sich sagen: Die Weitenzunahme erfolgt im gleichen Verhältnis wie die Zunahme der Breite.

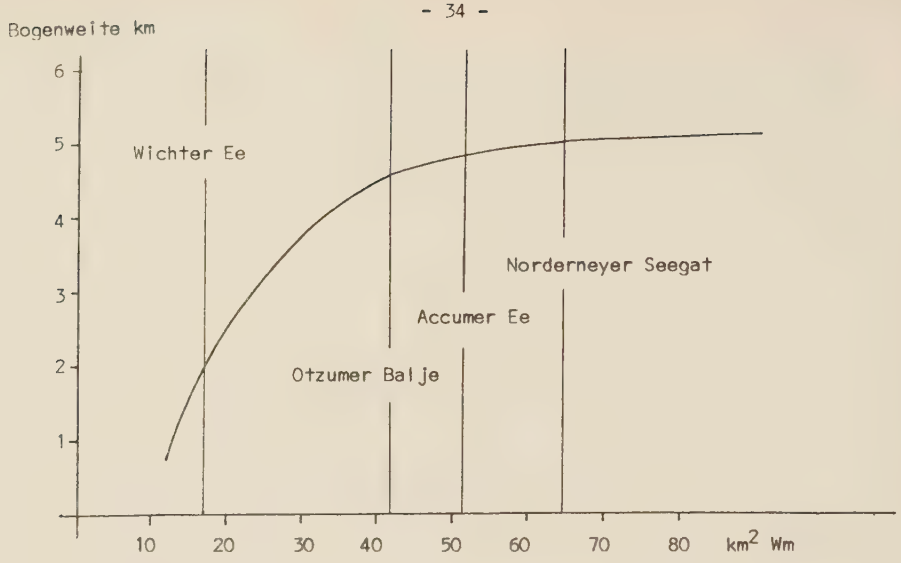


Abb. 8: Das Verhältnis zwischen Bogenweite und mittlerer Wasserfläche

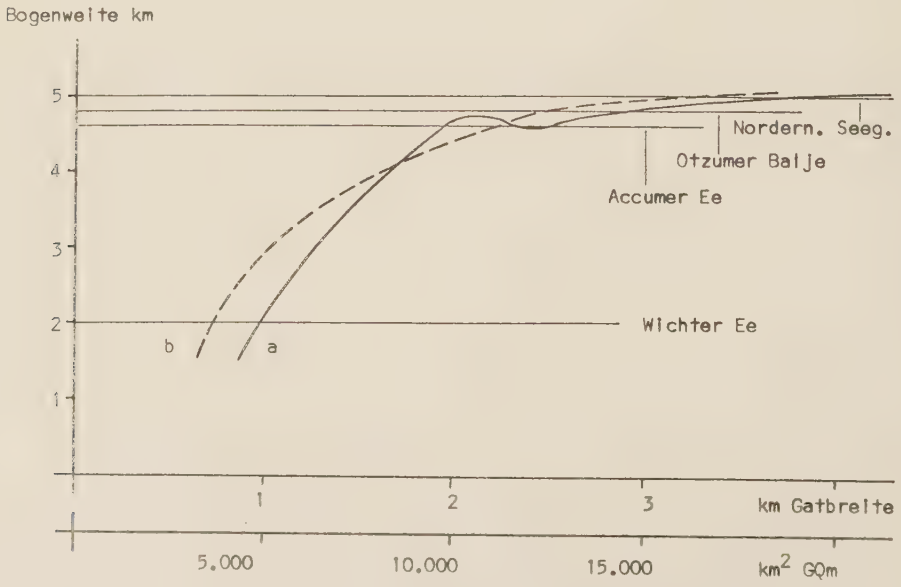


Abb. 9: a) Das Verhältnis zwischen Bogenweite und Gatbreite
b) Das Verhältnis zwischen Bogenweite und GQm

Beim Querschnitt GQm handelt es sich nicht um den Gatquerschnitt schlechthin; denn würde die Öffnung in ihrer Gänze zugrunde gelegt, so müßte die Kurve a ebenfalls ein zwar geringes, aber doch deutliches Umbiegen im Bereich von Otzumer Balje und Accumer Ee zeigen. Beide Gats verfügen nämlich in ihrem Querschnitt an der engsten Stelle über das fast gleiche Ausmaß (Otzumer Balje: ca. 12,4 qkm; Accumer Ee: ca. 12,3 qkm. - WSA NORDEN, 1956).

GQm meint vielmehr ausschließlich das Mittel der wasserführenden Querschnitte in Höhe von MThw und MSpTnw, die sich anhand von gepeilten Querprofilen errechnen lassen.

Der Vergleich des GQm-Wertes der Otzumer Balje mit dem der Accumer Ee zeigt, daß zwischen beiden Gats eine deutliche Differenz

	Norderneyer S.	Wichter Ee	Accumer Ee	Otzumer Balje	Harle
Bogenweite	5,0	2,0	4,8	4,6	2,6
Gatbreite	3,8	1,0	2,1	2,4	2,6
Gatquerschnitt GQm	15,9	3,6	11,8	10,9	
Länge östl. Insel	13,8	5,0	11,3	9,9	8,0
Staffelung	3,0	1,3	2,6	2,3	1,8

Tab. 2: Riffbogenweite, Breite und mittlerer Querschnitt der Gats, Länge und Staffelung der Inseln (Querschnitt in qkm, sonst km)

besteht. So beträgt der GQm im ersten Fall etwa 10,9 qkm, im zweiten dagegen 11,8 qkm. Das bedeutet: Die Öffnung zwischen Langeoog und Spiekeroog verfügt zwar über eine deutlich tiefere Hauptrinne und auch etwas tiefere Nebenrinnen als die zwischen Baltrum und Langeoog. Hinsichtlich der Breite der Hauptrinne vor allem im oberen Gatbereich, in dem die hauptsächliche Wasserbewegung und Materialverfrachtung stattfinden, steht sie jedoch hinter jener zurück. Sie ist also insgesamt als flachere Passage mit einem geringeren Durchflußvermögen ausgebildet.

Zusammenfassend ist zur Gatbreite zu sagen: Eine gesetzmäßige Abhängigkeit zwischen ihr und der Bogenweite ist nur dann gegeben, wenn der mittlere wasserführende Querschnitt der Öffnung und damit die Größe des Durchflusses Berücksichtigung finden.

2.1.2.3 Die Beziehung zwischen der Bogengestalt und der Inselstaffelung und -länge

Abschließend ist die Frage der Staffelung zwischen den Inseln in Zusammenhang mit der Bogenweite und den genannten Faktoren zu bringen, von der sie und ihre Veränderungen bestimmt werden.

In Abb. 10 ist die Beziehung zwischen der Bogenweite und 1. dem Staffelungsgrad sowie 2. der Insellänge dargestellt. Der stetige Kurvenverlauf weist auf gesetzmäßige Abhängigkeiten hin:

Je weniger sich ein Bogen auswölbt, umso geringer liegen seine Ausgangs- und Zielinsel gestaffelt. Das Wandermaterial wird nämlich nicht so weit meerwärts abgelenkt und nimmt daher viel früher, viel südwestlicher, wieder seine ursprüngliche Ausrichtung ein. Dagegen gewinnt jener Sand, der um ein ablenkungsstarkes Gat herum einen weiten Bogen beschreibt, erst weiter nordöstlich seine inselparallele Bahn zurück. Er landet eher im mittleren bis östlichen als im westlichen bis mittleren Teil der Zielinsel an und kommt daher vornehmlich den Ausweitungs- und Aufhöhungsvorgängen der östlichen Insel zugute. Ihr Wachstum wird also gefördert.

Das wirkt sich positiv auf die Größe des WTo-Speichers aus, denn dessen ostseitige Begrenzung, die Wasserscheide 1. Ordnung, rückt vor, und zwar in dem Maße, wie sich die Insel ostwärts ausdehnt. Ursache für die Scheidenverlagerung ist die jetzt vergrößerte Zeitdifferenz zwischen dem Flutbeginn am West- und Ostende der Insel.

Als Voraussetzung für das Ostwachstum gilt freilich:

> Das östliche Gat muß so breit bzw. der Westkopf der folgenden Insel so instabil sein, daß eine Einengung bzw. Rückverlegung möglich sind. Derartige Veränderungen größeren Umfangs scheinen im Augenblick unvorstellbar: Die gefährdeten Westköpfe sind mit Hilfe erheblicher Schutzbauten weitgehend stabilisiert worden; die Gats haben deshalb eine gewisse Lagekonstanz erhalten, - ganz abgesehen von dem Umstand, daß zumindest einige infolge geologischer Besonderheiten im Untergrund des Standortes (= Geschiebemergel oder Lauenburger Ton als Bremser bei tiefgreifender ostwärtiger Rinnenverlagerung! SINDOWSKI, 1961) sowieso ziemlich festliegen.

Die Bogenweite ist also für den Staffelungsgrad und die Insellänge verantwortlich. Da sie aber selber, wie bewiesen wurde, direkt und indirekt von der Größe des Flutspeichers abhängt, werden die Staffelung und Länge ebenfalls von diesem bestimmt.

Daß hier tatsächlich eine enge Form der Abhängigkeit vorliegt, zeigt sich, wenn die Wattenräume der einzelnen Gats einerseits zum Staffelungsgrad der begrenzenden Inseln und andererseits zur Lage der jeweiligen Zielinsel in Beziehung gesetzt werden (Abb. 11): Vergrößert sich der Speicherraum, nehmen die Staffelung und Insellänge zu. Beide weisen dabei die fast gleiche Zuwachsrate auf; sie sind 2,5mal größer, wenn der Speicher um 40 % aufnahmefähiger ist (Wichter Ee - Norderneyer Seegat).

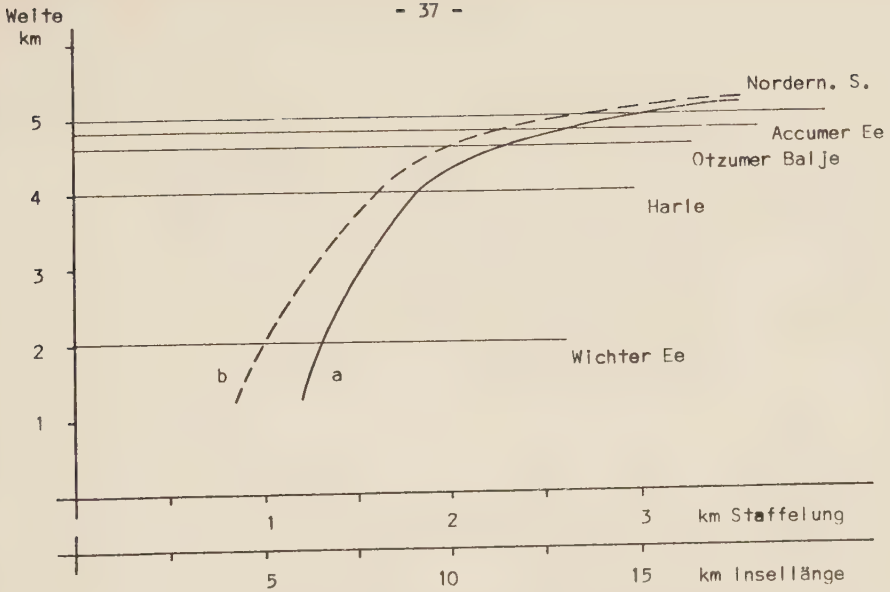


Abb. 10: a) Das Verhältnis zwischen Bogenweite und Staffelung
b) Das Verhältnis zwischen Bogenweite und Insellänge

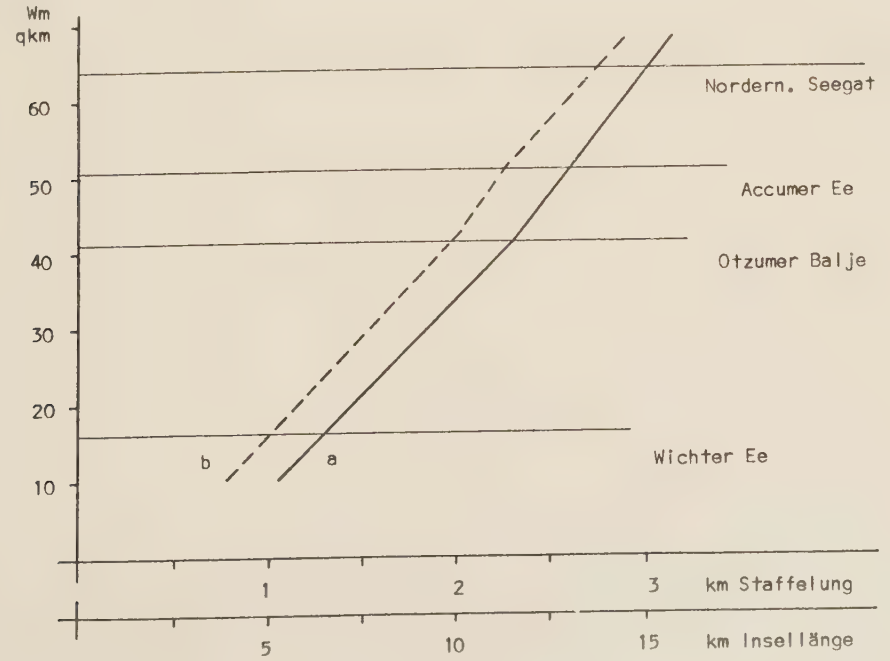


Abb. 11: a) Das Verhältnis zwischen Wm und Staffelung
b) Das Verhältnis zwischen Wm und Insellänge

Die Untersuchung hat gezeigt:

Zwischen der Bogenweite eines Gats und der Staffelung der begrenzenden Inseln sowie der Länge der Zielinsel besteht ein gesetzmäßiges Abhängigkeitsverhältnis. Da die Weite mittelbar von der Größe des angeschlossenen Flutspeichers und unmittelbar über den Querschnitt bzw. das Durchflußvermögen von der Gatbreite abhängt, werden der Staffelungsgrad und die Insellänge im Grunde ebenfalls von diesem Speicherraum bestimmt. Die Insellänge wiederum ist weitgehend für dessen Größe verantwortlich.

Somit ergibt sich das Abhängigkeitsschema in Abb. 12.

Im Zusammenhang mit der Darstellung der Spiekerooger Wattumgestaltung als Voraussetzung bzw. Folge der Ostplate-Bildung wird veranschaulicht, wie labil dieses Abhängigkeitsgefüge ist:

Veränderungen eines der angegebenen Faktoren ziehen Veränderungen aller übrigen nach sich!

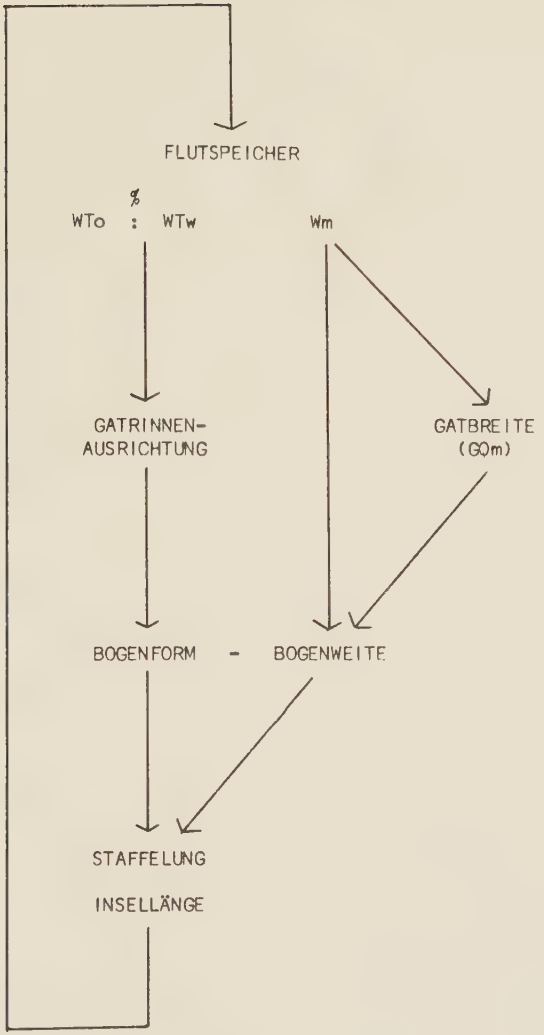


Abb. 12: Die Beziehung zwischen Flutspeicher, Gat, Bogengestalt und Staffelung bzw. Insellänge

2.2 Die Ausdrucksformen des Materialtransportes im Bereich des oberen Vorstrandes und nassen Strandes

2.2.1 Die Großformen der Sandverfrachtung

(= Das Riffverhalten im Annäherungs- und Anlandungsstadium)

Das untersuchte Gebilde rückt im westlichen Abschnitt der Anlandungszone des Riffbogens unter Brandungseinwirkung und kleinräumiger Wasserbewegung fast geradlinig auf den Strand zu, denn der Inselrand fällt hier - anders als im Ostteil der Anlandungszone - nach NNW ab. Unmittelbar unter der Insel läßt die Brandungsrinne (= zunächst Strandbalje, dann Strandpriel) das Riff nach O hin verstärkt seewärts zurückspringen. In dieser Richtung zieht es sich auch unter Abflachung aus. In dem Maße, wie die Anlandung voranschreitet und sich die Rinne schließt, paßt es sich auf ganzer Länge dem Strandverlauf an.

Da das In-den-Strand-Aufgehen durch dieses Verhalten im Bereich des westlichen Riffteils etwas eher vonstatten geht als weiter östlich, schiebt sich die Anlandungszone während des Anlandungsprozesses leicht nach O. Nach vollzogener Anlandung springt sie nach W zurück.

Je nach der Entfernung zwischen Riff und nassem bzw. trockenem Strand sowie vor allem je nach der Gestalt und dem Verhalten der Strandfläche zwischen Riffleehang und Strandhang zum mittleren Niedrigwasser rechnen die zehn untersuchten Entwicklungsphasen (Abb. 13) des ankommenden Riffs zum ...

a. Annäherungsstadium:

Zwischen Riff und Strand befindet sich im Gebiet des oberen Vorstrandes eine rinnenartige Vertiefung, die bei mittlerem Niedrigwasser überflutet bleibt und besonders gegen Ende des Stadiums nach Form und Funktion klar als Strandbalje ausgebildet ist (Abb. 14 u. 15).

(Tab. 3: Annäherungsstadium = Annäherungsphasen a - f = Riffzustand R1 bis R6)

b. Anlandungsstadium:

Das Riff ist in den Bereich des nassen Strandes vorgedrungen und löst seine Gestalt nach und nach auf. Anstelle der Strandbalje tritt - ehe das In-den-Strand-Aufgehen ganz vollzogen ist - ein Strandpriel. Vom Anlandungsbeginn kann gesprochen werden, sobald ein Riff bei mittlerem Niedrigwasser nicht mehr durch eine ständig wassergefüllte Vertiefung vom nassen Strand getrennt wird, sondern sein Leehang in vollem Umfang aus diesem heraus aufsteigt und das Gebilde damit einen Teil des periodisch überfluteten Inselrandes darstellt (Abb. 16 - 18)

(Tab. 3: Anlandungsstadium = Anlandungsphasen a - d = Riffzustand R7 bis R10)

	Annäherungsphasen						Anlandungsphasen			
	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d
Riffzustand	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Schwerpunkt	860	680	510	370	290	220	190	150	80	-
Verlagerg.	180	170	140	80	70	30	40	70	-	
in %	20,9	25,0	27,5	21,6	24,1	13,6	21,5	46,6	-	
Riffbreite	490	460	420	360	300	270	250	-	-	-
Abnahme	30	40	60	60	30	20	-	-	-	
in %	6,1	8,7	14,3	16,7	10,0	7,4	-	-	-	
Riffhöhe	1,85	2,10	2,40	2,85	3,35	3,50	3,55	3,60	-	-
Zunahme	0,25	0,30	0,45	0,50	0,15	0,05	0,05	-	-	
in %	13,5	14,3	18,8	17,5	4,5	1,4	1,4	-	-	

Tab. 3: Die Schwerpunktlage, Breite und Höhe eines Riffs, das im Westteil der Anlandungszone des Riffbogens (Prof. Nr. 46) gegen den Spiekerooger Nordstrand vorrückt, und ihre Veränderungen von einer Entwicklungsphase zur nächsten (in m)

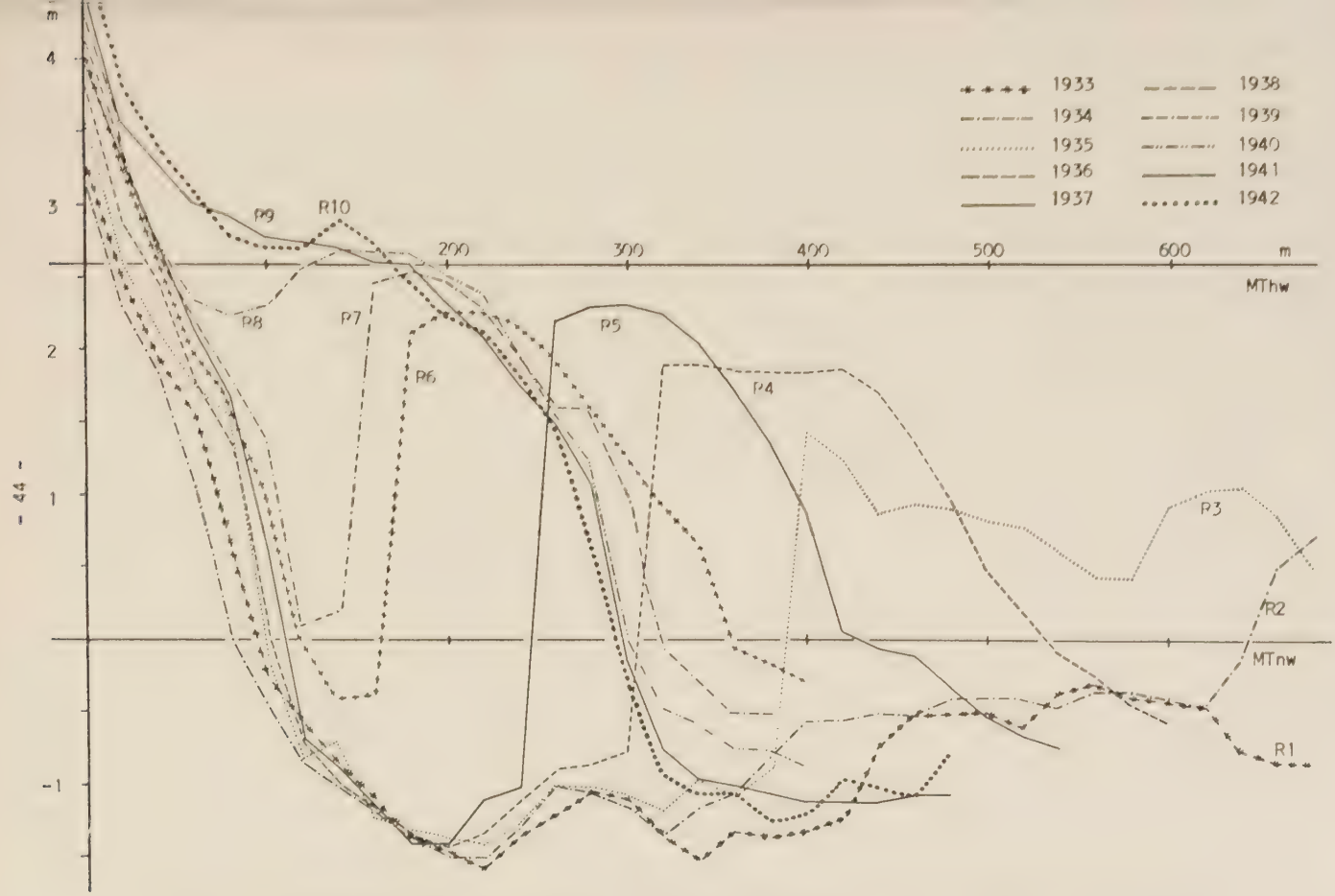


Abb. 13: Die Riffannäherung und -anlandung im westlichen Abschnitt der Anlandungszone (Profil Nr. 46)

Abb. 14

Abb. 15

Abb. 14: Zwei Riffe aus dem Bogen der Otzumer Balje im Zustand der Annäherung (westlicher Abschnitt der Spiekerooger Anlandungszone, Blick NNW)

Abb. 15: Riffe aus dem Bogen der Otzumer Balje in der Endphase der Annäherung (westlicher Abschnitt der Spiekerooger Anlandungszone, Blick NO)

Abb. 16

Abb. 17

Abb. 16: Riff im Zustand der Anlandung, unterer trockener Strand (westlicher Abschnitt der Spiekerooger Anlandungszone, Blick ONO)

Abb. 17: Riff im Zustand zunehmender Anlandung, oberer trockener Strand (westlicher Abschnitt der Anlandungszone, Blick WNW)

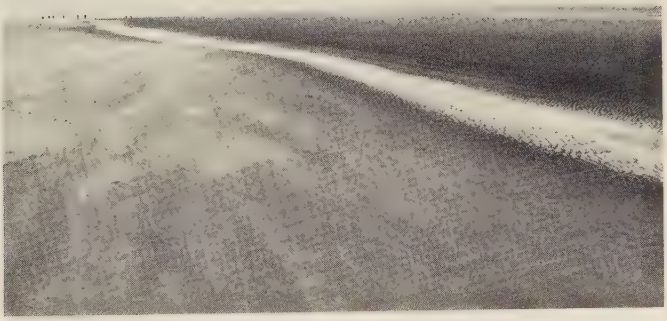


Abb. 18

Abb. 18: Riff im Zustand des In-den-Strand-Aufgehens (westlicher Abschnitt der Spiekerooger Anlandungszone, Blick W)

2.2.1.1 Riffbewegung und -gestaltwandel

In den einzelnen Phasen seines Vorrückens in Richtung des oberen nassen Strandes und seines Aufgehens in ihn läßt das Riff Änderungen seiner Bewegung und Gestalt erkennen. Sie verlaufen weitgehend in gesetzmäßigen Bahnen und hängen durchweg von der jeweiligen Lage ab:

2.2.1.1.1 Die Verlagerungsgeschwindigkeit

Gegenüber seiner ursprünglichen Position zu Beginn des Annäherungsstadiums (860 m vom Ausgangspunkt der Messungen entfernt) verändert sich der Schwerpunkt des Riffs innerhalb von neun Jahren um insgesamt 90 %, denn er schiebt sich um 760 m gegen den Strand vor. Die mittlere jährliche Verlagerungsgeschwindigkeit beträgt demzufolge 97,5 m. Damit erreicht das Riff nur etwa ein Viertel seiner Geschwindigkeit außerhalb des oberen Vorstrandes und unteren nassen Strandes (KRAMER/HOMEIER, 1956: mittlere Geschwindigkeit im Riffbogen des Norderneyer Seegats etwa 405 m/Jahr ± 20 %).

Da sich die vom Wasser verfrachtete Sandmenge bei fortschreitender Annäherung an den Strand außerdem sowieso eher verkleinert als vergrößert, weil viel Material im Vorstrandbereich in ungefähr strandparallele Ausrichtung gebracht wird, ist aus der obigen Bewegungsdifferenz zu schließen: Die Transportkräfte nehmen in Inselnähe grundsätzlich an Stärke ab bzw. treten in etwas anderer, nicht ganz so verfrachtungsintensiver Form auf wie weiter seewärts. - Wie die einzelnen Schwerpunktslagen zu erkennen geben, verringert sich die Wandergeschwindigkeit nicht kontinuierlich bis zur Uferlinie:

> Im ersten Beobachtungsdrittel (Annäherungsphase a bis c) bewegt sich das Riff jährlich um gut 160 m strandwärts; es verlagert sich also doppelt so schnell wie im Gesamtmittel und legt mehr als die Hälfte des Weges bis zum endgültigen Aufgehen zurück. Danach, und zwar zwischen knapp 400 und gut 200 m vom Ausgangspunkt der Messungen entfernt, ist die Geschwindigkeit für zwei Jahre um die Hälfte kleiner als während der ersten Annäherungsphasen und um mehr als Dreiviertel größer als außerhalb des Beobachtungsgebietes. Das Riff rückt nämlich nur 75 m/Jahr vor; es bleibt somit auch deutlich unter dem Verlagerungsdurchschnitt.
>
> Im Abstand von 200 bis knapp 150 m vom Ausgangspunkt der Messungen entfernt wird dieser Wert für zwei Entwicklungsphasen noch weiter unterboten; das Gebilde bewegt sich nur 30 bis 40 m/Jahr vorwärts. Es ist damit um mehr als ein Zehntel langsamer als vor der Annäherung und um ein gutes Fünftel langsamer als zu ihrem Beginn.
>
> Gegen Ende des Beobachtungszeitraumes, wenn sich die Form des Riffs völlig auflöst und seine Sandmassen endgültig in den Strand aufgehen, macht sich allerdings eine deutliche Zunahme der Geschwindigkeit bemerkbar: Der bisherige Schwerpunkt rückt von der Phase h bis i um etwa 70 m vor. Es liegt also eine Geschwindigkeit vor, die zwar noch etwas hinter dem Durchschnittswert zurückbleibt, jedoch doppelt so groß ist wie die in den Phasen der geringsten Verlagerung.

Bringt man nun die Bewegungsraten mit der Gestalt der Verfrachtungsfläche und deren Lage zum mittleren Niedrigwasser bzw. Hochwasser in Bezug, so wird ein ausgeprägtes Abhängigkeitsverhältnis deutlich:

Die Bewegung des Riffs nimmt ab,

a. je mehr sich der Neigungswinkel des von ihm als Wanderbahn benutzten Strandabschnitts vergrößert, d. h. je steiler es sich aufwärts bewegen muß;
b. je näher es der MThw-Linie kommt, je geringer also der Antrieb durch die Brandung wird.

Sobald a. und b. gleichzeitig zum Tragen kommen, läßt die Bewegung verstärkt nach. So rückt das Riff vom Übergangsgebiet zwischen dem Vorstrand, der im vorliegenden Fall - infolge der ausgeprägten Strandbalje mit starker Rippströmung - unterhalb der MTnw-Linie sowieso unverhältnismäßig steil ansteigt, und dem periodisch überfluteten Strandgebiet an besonders langsam voran. Abb. 19. bringt das zum Ausdruck:

> Der erste Teil (Annäherungsphasen a bis e) ist durch allmählich zunehmenden Anstieg gekennzeichnet. Im anschließenden Abschnitt, der für die Riffbewegung am Übergang zwischen Annäherungs- und Anlandungsstadium steht (= Riff überwindet unter vorübergehender Abnahme seiner Verlagerungsgeschwindigkeit den inselseitigen, direkt in den nassen Strand übergehenden Hang der Strandbalje!), weist die Kurve einen etwas steileren Anstieg auf. Danach flacht sie wieder deutlich ab (Anlandungsphasen b und c), ohne allerdings den geringen Steilheitsgrad in der Mitte, geschweige denn den im ersten Teil des Beobachtungszeitraumes zu erlangen. Die Verlagerungsgeschwindigkeit ist hier also größer als zum Zeitpunkt des besagten Übergangs, aber längst nicht so ausgeprägt wie während des Annäherungsstadiums.
>
> Daß die Abnahme des Vorrückens bei Annäherung an den trockenen Strand zwar im ganzen gleichmäßig geschieht, von Phase zu Phase jedoch leicht differiert, und dann der unterschiedlich starken Zunahme weicht, zeigt Abb. 20: Die Kurve steigt zunächst umso flacher an, je größer der Grad der Bewegungsabnahme ist, und sie wendet sich im Anschluß an den Übergang von Abnahme in Zunahme umso flacher aufwärts, je mehr sich die auflandige Bewegung der in den Strand aufgehenden Sandmassen verstärkt.

Die Wandergeschwindigkeit weist im Bereich des oberen nassen Strandes und in der Übergangszone zum trockenen Strand einen leichten Anstieg nicht nur deshalb auf, weil vorher der Transport durch das ungünstige Strandrelief zeitweilig verlangsamt wird, sondern es tritt jetzt ein neuer Faktor hinzu, und ihm ist es zuzuschreiben, daß ein verstärktes Vorrücken bzw. In-den-Strand-Aufgehen auch dann geschieht, wenn das besondere Relief fehlen würde: der Wind. Da gerade auf dem oberen nassen Strand ja die Periode der Überflutung am kürzesten ist, findet er ausreichend Zeit, um entscheidend in die Vorgänge der Materialverfrachtung einzugreifen.

2.2.1.1.2 Die Breiten- und Höhenentwicklung

Von der Rifflage geht maßgeblicher Einfluß auf die Gestalt des anlan-

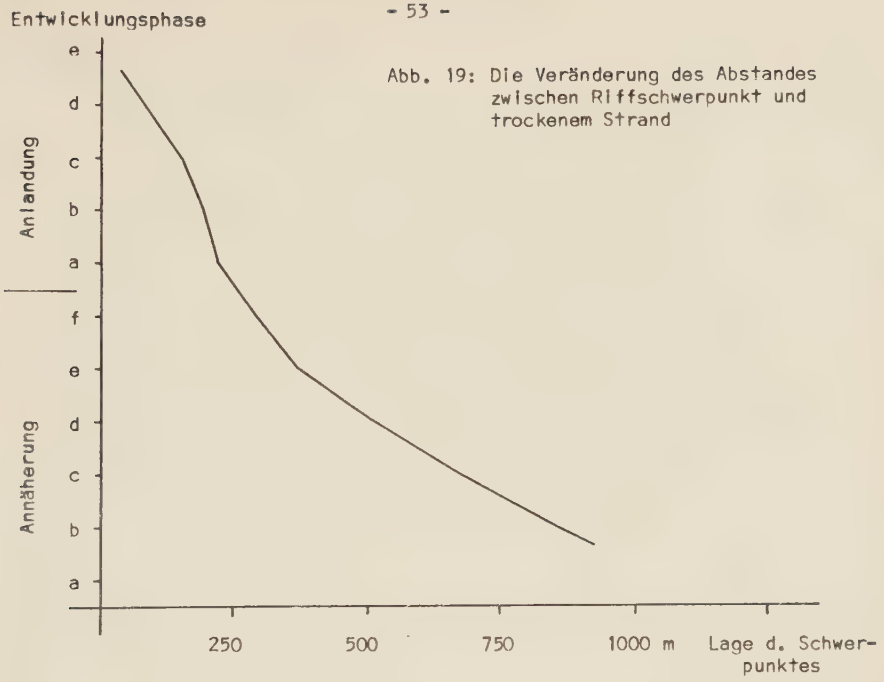


Abb. 19: Die Veränderung des Abstandes zwischen Riffschwerpunkt und trockenem Strand

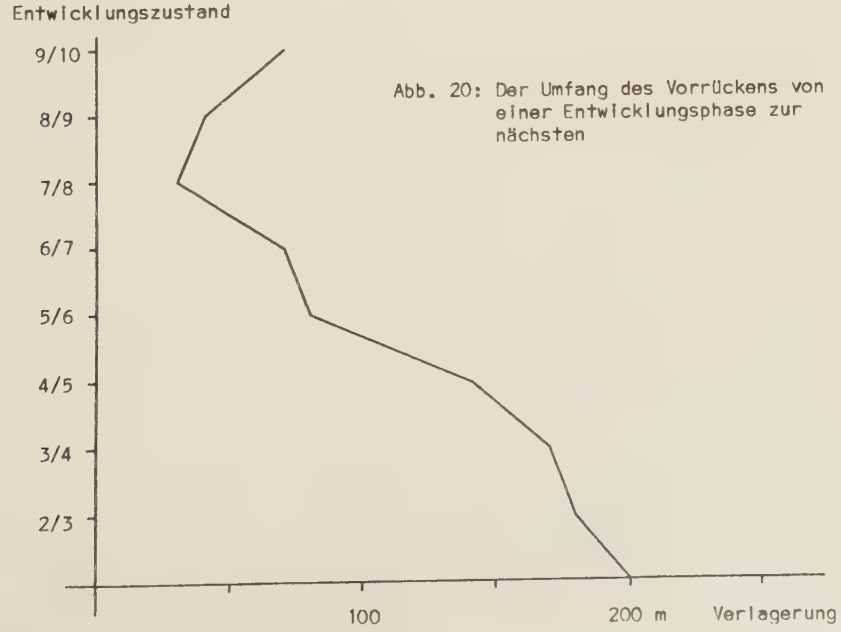


Abb. 20: Der Umfang des Vorrückens von einer Entwicklungsphase zur nächsten

denden Riffkörpers aus; sie wirkt auf seine Breite und Höhe ein. Beides geschieht in ungefähr gleichem Maße, jedoch mit umgekehrten Folgen. Das Verhalten der Höhe geht mit der entgegengesetzten Breitenentwicklung Hand in Hand:

Die Breite der Riffsohle, die im Mittel etwa 350 m beträgt, nimmt während des Beobachtungszeitraumes ohne Unterbrechung um fast die Hälfte von 490 auf 250 m ab. Es liegt damit eine durchschnittliche negative Breitenentwicklung von 40 m/Jahr vor.

> Wie Abb. 21, Kurve a, zu entnehmen ist, verschmälert sich das Riff in einem Zeitraum, in dem es noch nicht wesentlich über die MTnw-Linie hinausragt, um ungefähr 35 m/Jahr. Während der beiden anschließenden Jahre nimmt die Breite ungefähr doppelt so stark ab. Diese Zeit ist durch das rasche Emporwachsen in den Bereich der periodischen Überflutungen hinein und aus dem Gebiet der fast ständigen Wasserbedeckung heraus gekennzeichnet. Wo das Annäherungsstadium in das Anlandungsstadium übergeht, läßt die Abnahme wieder deutlich nach; die Sandmassen des Riffs gehen nämlich von nun an in den nassen Strand auf. Die geringere negative Breitenveränderung findet also nicht parallel zum Verlagerungsablauf statt, sondern hängt vielmehr von diesem und damit von der gerade behaupteten Lage ab.

Zwischen dem Umfang der Breitenveränderung und der Verlagerungsgeschwindigkeit jeweils von einer Phase zur nächsten besteht eine Diskrepanz: Im ersten Fall beträgt das Veränderungsmittel 10,5 %; es basiert auf nur verhältnismäßig wenig gestreuten Einzelwerten (6,12 bis 16,67 %). Dagegen macht die jährliche Verlagerungsrate im Durchschnitt etwa 25 % aus. Die Breitenveränderung ist also um ungefähr zwei Fünftel kleiner als die Veränderung der Geschwindigkeit.

Im Gegensatz zur Breite zeichnet sich die Riffhöhe durch eine positive Entwicklung aus, und zwar ohne Unterbrechung vom Anfang bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes. Das vertikale Wachstum läßt die ursprüngliche Höhe von 1,85 auf 3,55 m (mittlere Höhe: 2,90 m) ansteigen; es führt also eine Veränderung um 1,60 m oder gut 94 % herbei. Das bedeutet fast eine Verdoppelung des vertikalen Riffausmaßes. Es liegt damit, wie angedeutet, eine zwar umgekehrte, aber sonst gleiche Entwicklungstendenz wie bei der Breite vor.

> Der Höhengewinn verläuft nicht konstant in gleich großen jährlichen Zuwachsraten, sondern gibt - wie die Breitenverringerung - ein Maximum zu erkennen. So wird die jährliche Aufhöhung im ersten Drittel des Beobachtungszeitraumes, die 0,25 m ausmacht, während der Phasen d bis e/f durch eine fast doppelt so große Zunahme abgelöst. Im Strandbereich zwischen 500 bis gut 200 m vom Ausgangspunkt entfernt, kommt es also zu einem überdurchschnittlich schnellen Emporwachsen (Abb. 21, Kurve b).

Zwei Umstände sind die Ursache:

a. Das Riff wird durch die strandbaljenartige Rinne, die zwischen seinem Leehang und dem Hang des unteren nassen Strandes sowie obersten Vorstrandes besteht, am raschen Voranschreiten bei konstanter Breite und Höhe gehindert.

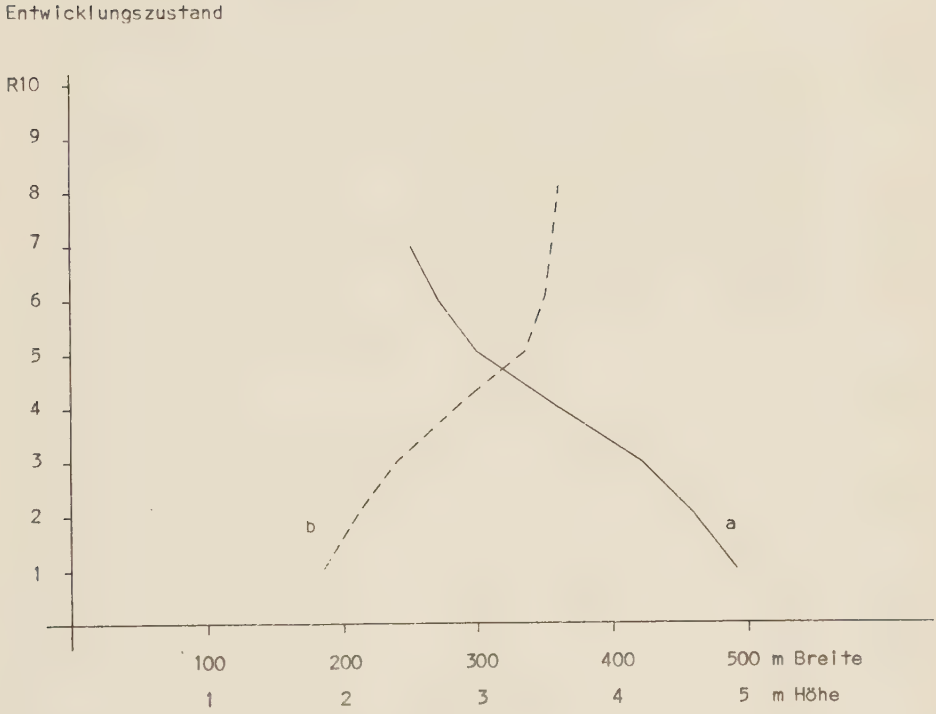


Abb. 21: Die Veränderung der a) Riffbreite
b) Riffhöhe

b. Das Riff unterliegt dem verstärkten Wachstum, weil es den sanft geneigten Hang des obersten Vorstrandabschnittes nun soweit hinaufgewandert ist, daß es in den Übergangsbereich von dauernder zu periodischer Wasserbedeckung gerät und erhöhter Brandungstätigkeit ausgesetzt wird.

Bei der besagten Übereinstimmung zwischen Höhen- und Breitenentwicklung handelt es sich nicht nur um eine teilweise, weil auf bestimmte Abschnitte des Entwicklungszeitraumes beschränkte Parallelität, wie sie zum Beispiel im folgenden deutlich wird: Die stärkste jährliche Aufhöhungsrate liegt zeitlich dort, wo die Breitenveränderung ihr Maximum erreicht.

Es besteht vielmehr im ganzen, d. h. hinsichtlich des Umfangs aller jährlichen Veränderungsraten, ein solches Maß an Gleichheit, daß von einem gesetzmäßigen Abhängigkeitsverhältnis zu sprechen ist. Dieses drückt sich im Verhalten der Kurven in Abb. 21 zueinander aus: Trüge man eine der Kurven spiegelbildlich auf, so ergäbe sich - was sowohl den Gesamtverlauf als auch die Steilheit der verschiedenen Abschnitte betrifft - eine weitgehende Deckung mit der anderen.

Zusammenfassend ist festzustellen: Die Breitenabnahme und der Höhengewinn vergrößern sich umso mehr, je näher ein Riff dem Ende des oberen Vorstrandes kommt, je weiter es über die MTnw-Linie in den Bereich des nassen Strandes emporwächst. Die Kräfte am Übergang zwischen dem Gebiet mit ständiger Wasserbedeckung und dem mit periodischer Überflutung und vor allem jene, die im letztgenannten Strandteil wirksam werden, sorgen neben der Beeinflussung der Verfrachtungsgeschwindigkeit dafür, daß die Änderungen der Riffgestalt im Sinne einer Betonung der Vertikalen forciert werden.

2.2.1.1.3 Die Neigungsverhältnisse der Riffhänge

Was zur Abhängigkeit der Riffgestalt von der Lage gesagt wurde, gilt auch weitgehend für die Neigung von Luv- und Leehang (Abb. 22 u. 23):

Die Neigung des Luvhanges (Mittel: 1,20 %) steigert sich von 0,62 auf 1,70 % im Zeitraum zwischen den Annäherungsphasen a und g, in dem das Riff unter Wahrung der Riffgestalt bis zum nassen Strand vorrückt. Sie nimmt also um etwa ein Drittel zu. Die Aufsteilung erfolgt in jährlichen Raten von durchschnittlich 0,18 %. Von der Anlandungsphase b ab erfährt der Hang - wie Abb. 22 anschaulich macht - eine umgekehrte Entwicklung: Er flacht bis zum endgültigen Aufgehen des Riffs bzw. seines Nachfolgegebildes in den Strand ohne Unterbrechung ab. Die Neigungsabnahme findet in Form von jährlichen Raten statt, die mit einem Mittel von 0,16 % zwar kleiner sind als die des vorausgegangenen Zunahmezeitraumes, sich jedoch größenmäßig kontinuierlicher verändern.

Der Leehang weist zwar hinsichtlich der zeitlichen Abfolge des positiven und negativen Entwicklungsabschnittes im großen und ganzen Übereinstimmung mit dem Luvhang auf. Er hebt sich allerdings deutlich ab,

	Annäherungsphasen						Anlandungsphasen			
	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d
Riffzustand	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Luvh.-Neigung	0,62	0,67	0,90	1,22	1,41	1,48	1,70	1,48	1,33	1,22
Veränderg.		0,05	0,23	0,32	0,19	0,07	0,22	-0,22	-0,15	-0,11
in %		8,1	34,3	35,6	15,6	4,9	14,9	-12,9	-10,1	-8,27
Leeh.-Neigung	2,50	2,75	11,0	13,3	16,0	12,3	11,3	1,25	-	-
Veränderg.		0,25	8,25	2,25	2,75	-3,75	-1,00	-10,0	-	-
in %		10,0	ca. 300	20,5	20,8	-23,4	-8,16	-88,9	-	-
Neigung ns. Strand	3,83	3,42	3,38	3,95	4,01	3,29	3,33	2,42	2,19	2,12
Veränderg.		-0,41	-0,04	0,57	0,06	-0,72	0,04	-0,91	-0,23	-0,07
in %		-10,7	-1,7	16,9	1,5	-17,9	1,2	-27,3	-9,5	-3,2

Tab. 4: Die Luv- bzw. Leehangneigung eines Riffs, das im Westteil der Anlandungszone des Riffbogens (Prof. Nr. 46) gegen Spiekeroog vorrückt, sowie die Neigung des betroffenen nassen Strandes und ihre Veränderungen von einer Entwicklungsphase zur nächsten (in %)

was den Umfang der jährlichen Veränderungen angeht, die sich im einen wie im anderen Fall ergeben, und was somit die Gesamtveränderung betrifft. So steilt er sich im Laufe der ersten sechs Phasen um das Fünffache auf. Das bedeutet eine durchschnittliche Gefällezunahme von 0,67 % pro Jahr; der Leehang steht daher zum Luvhang in einem Verhältnis von 3,7 zu 1. Eine ähnliche Relation liegt hinsichtlich der Neigungsabnahme vom Ende des Annäherungsstadiums bis zu dem des Anlandungsstadiums vor: Da die Neigung des inselseitigen Hanges innerhalb dieser drei Phasen von 5,2 % auf knapp 1 % zurückgeht, beträgt die Veränderungsrate 1,4 % pro Jahr. Sie erreicht die genau 9fache Größe des entsprechenden Wertes vom seeseitigen Hang.

Die Differenz in der Neigungsvergrößerung der beiden Hänge erklärt sich so:

a. Die Kräfte, von denen die Luvseite gestaltet wird, wirken gleichsam indirekt noch stärker auf die Formveränderung der Leeseite ein: Obgleich sie beim allmählichen Emporwandern des Riffs zwar vorzugsweise den oberen Luvhang mit Material versorgen, schlagen sie gleichzeitig auch im mittleren und unteren Abschnitt Sand nieder. Deshalb kommt die positive Veränderung des Rükkens in keiner deutlichen Vergrößerung der seeseitigen Hangneigung zum Tragen. Anders im Bereich der Leeseite: Da dort weder der untere noch der mittlere Hang einer Materialzufuhr unterworfen sind, die jener an den entsprechenden Stellen des Luvhanges vergleichbar wäre, wirkt sich die Aufhöhung des Rückens erheblich stärker aus.

b. Zur verstärkten Leehangneigung tragen die strandparallel bis leicht ablandig auftretenden Längsströmungen (Rippströmungen) in der inselseitigen, strandbaljenartigen Rinne unmittelbar bei, indem sie vor allem am Hangfuß stark abradierend wirksam werden. Da die gesamte Strandgestalt auf die Form und Tiefe der Rinne und damit auf die Wirksamkeit der Längsströmungen Einfluß hat, trägt auch sie - indirekt - zum Neigungsgrad bei.

2.2.1.2 Die Riffanlandung und die Strandgestalt

Die Strandentwicklung ist von einem bestimmten Zeitpunkt an, der von der Rifflage abhängt, durch ein mehr oder weniger auffälliges meerwärtiges Wachstum sowohl des nassen als auch des trockenen Strandes gekennzeichnet. Gleichzeitig mit dieser Entwicklung geht die Aufhöhung besonders im letztgenannten Gebiet vonstatten. Wenn beide Veränderungen auch nur immer vorübergehend die Strandgestalt bestimmen, so sind sie doch für die Inselsicherheit und vor allem - auf dem Wege über Windeinwirkung - für das vertikale und horizontale Wachstum der östlichen Inselteile äußerst bedeutsam. Das gilt schon allein deshalb, weil sie der rückläufigen Entwicklung, die sie jedesmal ablöst, zeitlich positiv gegenüberstehen.

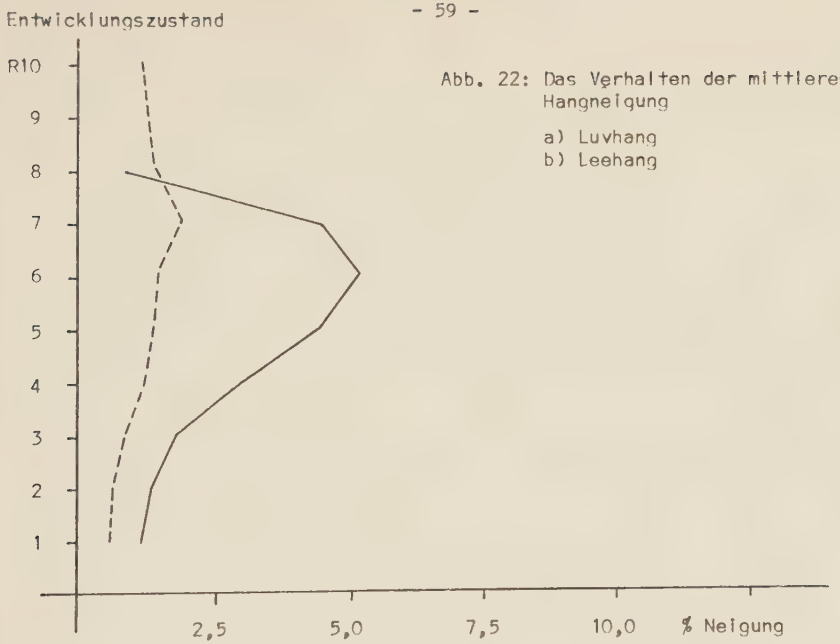


Abb. 22: Das Verhalten der mittleren Hangneigung

a) Luvhang
b) Leehang

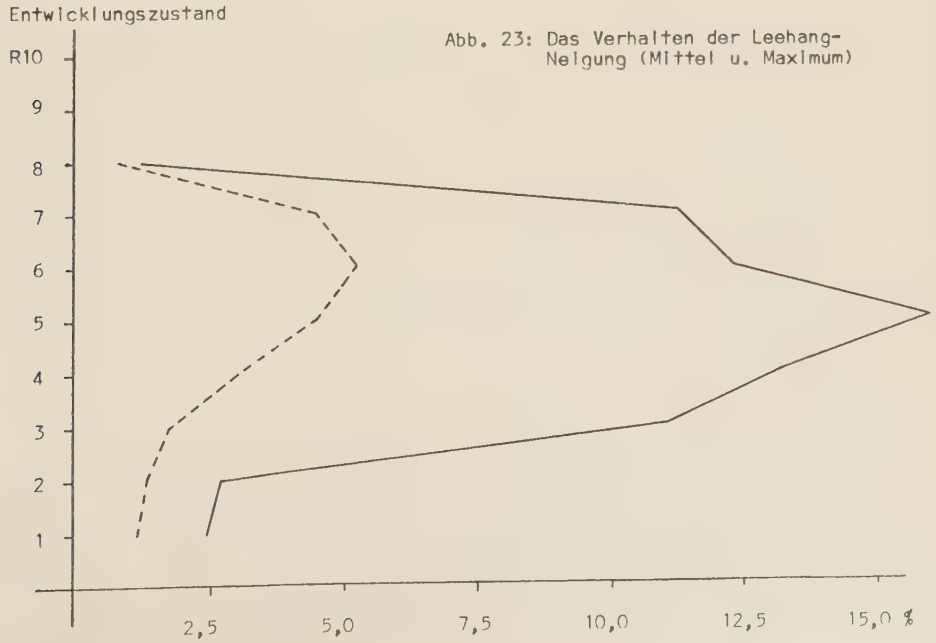


Abb. 23: Das Verhalten der Leehang-Neigung (Mittel u. Maximum)

2.2.1.2.1 Die horizontale Strandveränderung

Wie Abb. 24 zu entnehmen ist, zeigen die auf den Meßwerten in Höhe von MTnw und MThw basierenden Kurven in ihrem Verlauf deutliche Übereinstimmungen: Beide geben für die Phasen des Annäherungsstadiums unmittelbar im Anschluß an den negativsten Strandzustand (= Annäherungsphase b) nur kleine jährliche Ausweitungsraten an. Im Mittel dehnt sich der periodisch überflutete Inselsaum um 8,45 m/Jahr aus; in Höhe von MTnw beträgt der Gewinn durchschnittlich 10,5 m und in der von MThw etwa 6,4 m. Dagegen ist der Beginn des Anlandungsstadiums mit 198 m (MTnw; Annäherungsphase f/Anlandungsphase a) bzw. 148 m (MThw; Anlandungsphase a/b) durch eine 19 bzw. 23mal so große Ausweitung gekennzeichnet.

Dieses auffällige Wachstum, das von einem Jahr zum nächsten sowohl die MTnw- als auch die MThw-Linie um das 6fache der bisher erreichten positiven Änderung vorrücken läßt, führt in beiden Fällen den positivsten Strandzustand herbei:

Der horizontale Gewinn macht im Bereich des oberen Vorstrandes und unteren nassen Strandes seit dem negativsten Zustand vor 5 Jahren 240 m aus. Die entsprechende Veränderung beträgt beim oberen nassen und unteren trockenen Strand 180 m. Hier tritt der positivste Zustand aber erst ein Jahr später ein, weil auch der rapide Ausweitungssprung um diese Zeit verzögert einsetzt. Entsprechend verhält es sich mit der rückläufigen Entwicklung, die sofort nach der Phase des maximalen Strandgewinns beginnt:

Die Ausweitung geht während der mittleren bzw. letzten Anlandungsphase in eine Strandverringerung über (MTnw ab Phase b, MThw ab Phase c). Da ihr Umfang im Durchschnitt 10,5 m/Jahr beträgt, ist sie größenmäßig fast der positiven Veränderung unmittelbar im Anschluß an den negativsten Strandzustand vergleichbar.

Die rückläufige Entwicklung noch vor der endgültigen Anlandung hat folgende Ursache:

a. In den Beobachtungsraum ist von See her ein neues Riff[+)] eingedrungen, das nun wirksam wird. Es sorgt in der Phase seiner frühen Annäherung für die leichte Tieferlegung des obersten Vorstrandes, die Rückverlegung und Abflachung des nassen Strandes.
b. Die in den Strand aufgegangene Riffmasse wird allmählich in verstärktem Maße in Richtung des trockenen Strandes und Dünengebietes weitertransportiert.

+)
Da für die dargestellt Annäherungsphase f und alle Anlandungsphasen im Bereich von Prof. Nr. 46 exakte und vollständige Messungen nur von jenem Strandabschnitt vorliegen, der sich vom Profilanfang etwa 500 m seewärts erstreckt, hat das neue, noch inselferne Gebilde keine Aufnahme in Abb. 13 gefunden. Zumindest ab Anlandungsphase a müßte es - wenn auch zunächst nur als noch ziemlich flache, im ganzen dem R1-Riff entsprechende Form - als vorhanden angenommen werden.

	Annäherungsphasen						Anlandungsphasen			
	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Breitengewinn in Höhe MTnw (seit R2 = neg. Strandzustand)	-14	0	18	21	29	42	240	220	218	210
Breitengewinn in Höhe MThw (seit R2)	-5	0	8	23	33	29	32	180	168	158
St'aufhöhung+) (m über MTnw)	3,26	3,15	3,56	3,80	3,96	4,00	4,13	4,23	4,52	4,67
Veränderg.		-0,11	0,41	0,24	0,16	0,04	0,13	0,10	0,29	0,15
in %		3,5	13,0	6,7	4,2	1,0	3,3	2,4	6,9	3,3
Höhengewinn+) (seit R2)	-0,11	0	0,41	0,65	0,81	0,85	0,98	1,08	1,37	1,52

Tab. 5: Die horizontale und vertikale Strandentwicklung im Westteil der Anlandungszone des Riffbogens (Profil Nr. 46) bei Annäherung und Anlandung eines Riffs (in m)

+)
am Ausgangspunkt der Messungen

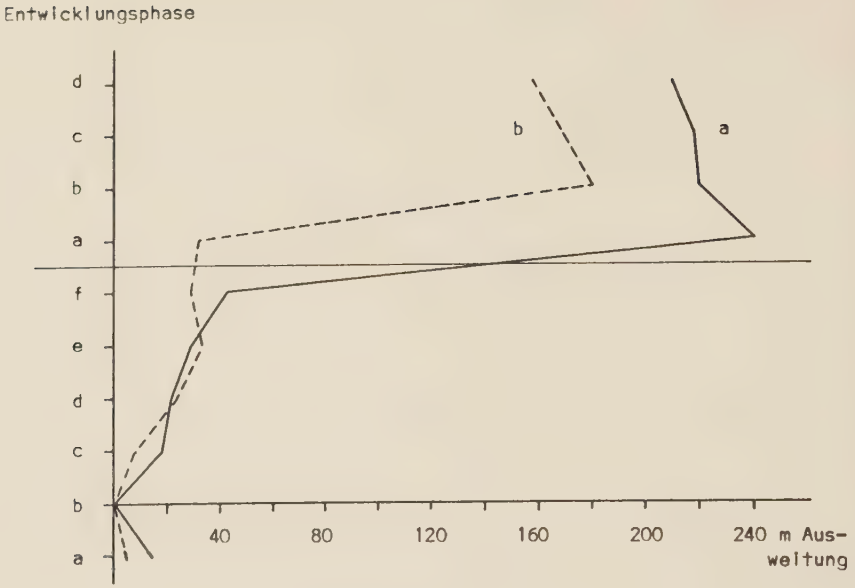


Abb. 24: Die meerwärtige Strandausweitung in Höhe
a) MTnw
b) MThw

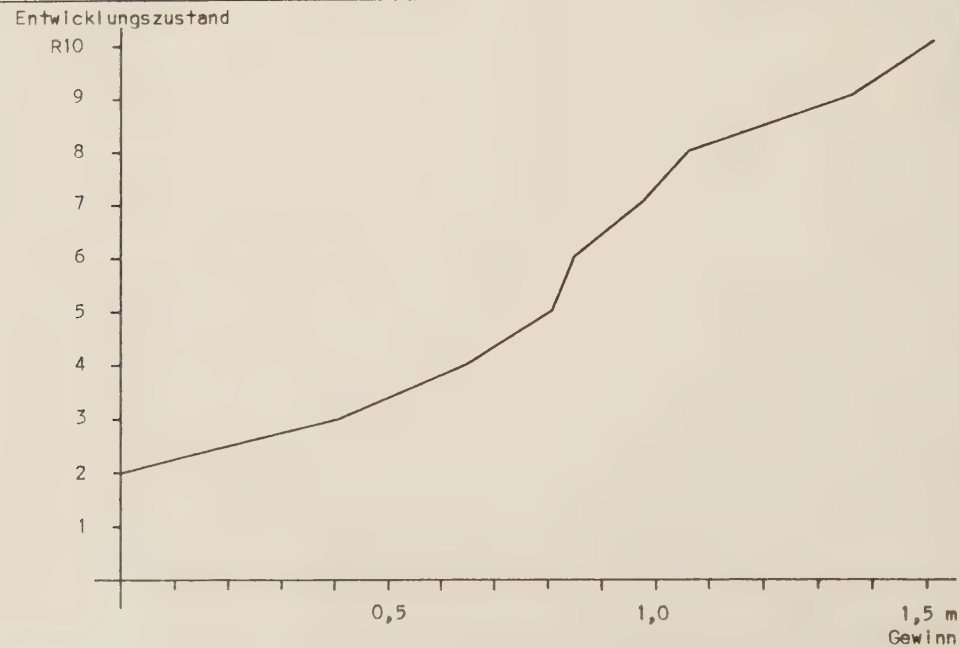


Abb. 25: Die Aufhöhung des trockenen Strandes seit R2

Daß sich in dem von der MThw-Linie bestimmten Gebiet die besagte negative Entwicklung erst von der Anlandungsphase c an bemerkbar macht, hat seine Ursache in folgendem Umstand: Der Rücken des Riffs, das mit seinem Leehang weitgehend mit dem bisherigen Strandhang verschmolzen ist, bildet den oberen Abschnitt des ausgeweiteten Strandes. Er ist noch ein Jahr lang dadurch gekennzeichnet, daß die - die restliche Rifform stabilisierende - Materialzufuhr gegenüber dem Materialentzug dominiert.

Der Entzug beschleunigt die Entwicklung in Richtung auf einen nassen Strand, der mit gleichmäßigem Anstieg in den aufgehöhten trockenen Strand übergeht. Damit steht der Rücken im Gegensatz zum unteren luvseitigen Teil dieses Restgebildes, das sich nicht nur gleichsam gesetzmäßig, sondern auch infolge von leichten Abrasionsvorgängen zurückverlegt.

Das besagte Dominieren kommt weitgehend zustande, weil sich die Wasserkräfte im MThw-Bereich von denen bei MTnw an Intensität und Wirksamkeit unterscheiden. Die Verzögerung des Ausweitungsvorganges kann also als vornehmlich lagebedingt angesprochen werden. Das gilt auch für die Differenz von einem Jahr, durch die die Strandausweitung bis zum Erreichen des Maximums verzögert wird.

2.2.1.2.2 Die vertikalen Strandveränderungen

Der Höhengewinn des trockenen Strandes beträgt von der Annäherungsphase b an bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes 1,52 m oder gut 48 %. Läßt man den Umstand außer acht, daß sie nur zeitweise auftritt, so verfügt diese positive Veränderung über eine Bedeutung für den gesamten Inselwerdungs- und Erhaltungsprozeß, die gar nicht hoch genug eingeschätzt werden kann. Das Emporwachsen um mehr als einen Meter über das mittlere Hochwasser hinaus vergrößert nicht nur die Voraussetzung des Aufhöhungs- und Ausweitungsprozesses im nördlichen und östlichen Inselteil; es stellt auch einen erheblichen Sicherheitsfaktor für den Nordstrand selber dar.

Aus welchen jährlichen Teilbeträgen sich das gesamte Wachstum zusammensetzt, verdeutlicht Abb. 25. Im Gegensatz zu den Kurven der Strandausweitung in Höhe von MTnw bzw. MThw nimmt die Kurve hier einen ununterbrochen ansteigenden Verlauf: Sie bringt ein ständiges vertikales Wachstum infolge der Riffannäherung und -anlandung zum Ausdruck.

Die Unterschiede in der Steilheit zeigen, daß die Aufhöhung jedoch nicht zu allen Zeiten gleich groß ist, sondern - durch die jeweilige Rifflage bedingt - Abschnitte größeren und kleineren Ausmaßes aufweist. Ihre zeitliche Anordnung und ihr Umfang machen deutlich: Von der Spiegelbildlichkeit abgesehen, ist die Aufhöhungskurve der Kurve der Verlagerungsgeschwindigkeit (Abb. 19) ziemlich ähnlich.

So macht die jährliche Aufhöhungsrate während der drei ersten Annäherungsphasen im Anschluß an den Zeitpunkt des negativsten Strandzustands etwa 0,27 m/Jahr aus. Während der Anlandungsphasen b bis d beträgt der entsprechende Wert 0,22 m. Der Zeitraum dazwischen, der in Abb. 19 durch einen überdurchschnittlich steilen

Kurvenverlauf charakterisiert ist, verfügt über eine mittlere Aufhöhungsrate von 0,90 m/Jahr. Zu Beginn und gegen Ende des Beobachtungszeitraumes schreitet die Aufhöhung somit dreimal bzw. etwa 2,5mal so schnell voran wie in den Phasen am Übergang vom Annäherungs- zum Anlandungsstadium.

Auch das hängt mit der Rifflage zusammen: Gleich nach dem negativsten Strandzustand erreicht der Sand, der vom Riff bzw. vom Rücken seines Nachfolgegebildes auflandig abwandert, den Strand in hohem Maße auf direktem Wege. In der Zwischenzeit sorgt aber die Rippströmung in der jetzt sehr ausgebildeten strandbaljenartigen Rinne bzw. in ihrer Folgeform am Übergang zum nassen Strand für einen umfangreichen strandparallelen Versatz. Soweit das betroffene Material dem Anlandungsprozeß im Riffbereich nicht wieder ganz entzogen wird, kommt es nur über einen mehr oder weniger weiten Umweg mit zeitlicher Verzögerung der Aufhöhung des trockenen Strandes und damit der positiven Inselentwicklung zugute.

Auf die Frage nach dem Umfang der Sandmenge, die den Strand direkt erreicht und jener mit zeitlich-räumlicher Verzögerung wird im folgenden Kapitel über die Kleinformen des Materialtransportes eingegangen.

Wie Vergleichsuntersuchungen anhand anderer Meßreihen des beschriebenen Profils Nr. 46 und der direkt benachbarter Profile (Nr. 45 und 47) zeigen, spielen sich das Heranrücken und In-den-Strand-Aufgehen von Riffen im Bereich der westlichen Anlandungszone - trotz kleiner Differenzen in den Maßen der hintereinander ankommenden Riffe und im Strandverhalten - im ganzen in der geschilderten Weise ab: Die auftretenden Änderungen der Bewegung und Gestalt unterliegen immer den aufgezeigten Gesetzmäßigkeiten. Die Allgemeingültigkeit der gewonnenen Ergebnisse ist somit für diesen Raum gegeben.

2.2.1.3 Die Besonderheiten im Verhalten der Riffe der mittleren bis östlichen Anlandungszone (Abb. 26)

Ein Vergleich mit den Riffen im mittleren bis östlichen Teil der Anlandungszone des Bogens zeigt, daß nur leicht abweichende Voraussetzungen...

hier:

größere Unabhängigkeit vom Kräftespiel im Vorfeld der Otzumer Balje; Ostverlauf des nördlichen Inselrandes = geringere strandfrontale Ausrichtung und damit schwächere Einwirkung der Vorstrand- und Strandströmungen sowie der strömungsintensivierenden westlichen bis nordwestlichen Winde = schwächere Strandneigung im Mittel und im einzelnen und weniger ausgeprägte strandparallele Rinnen sogar unmittelbar vor dem Anlandungszustand

... ein etwas anderes Riffaussehen und -verhalten erzeugen. Gesetzmäßigkeiten sind aber auch hier festzustellen,- freilich teilweise in anderer Form als im Westteil der Anlandungszone:

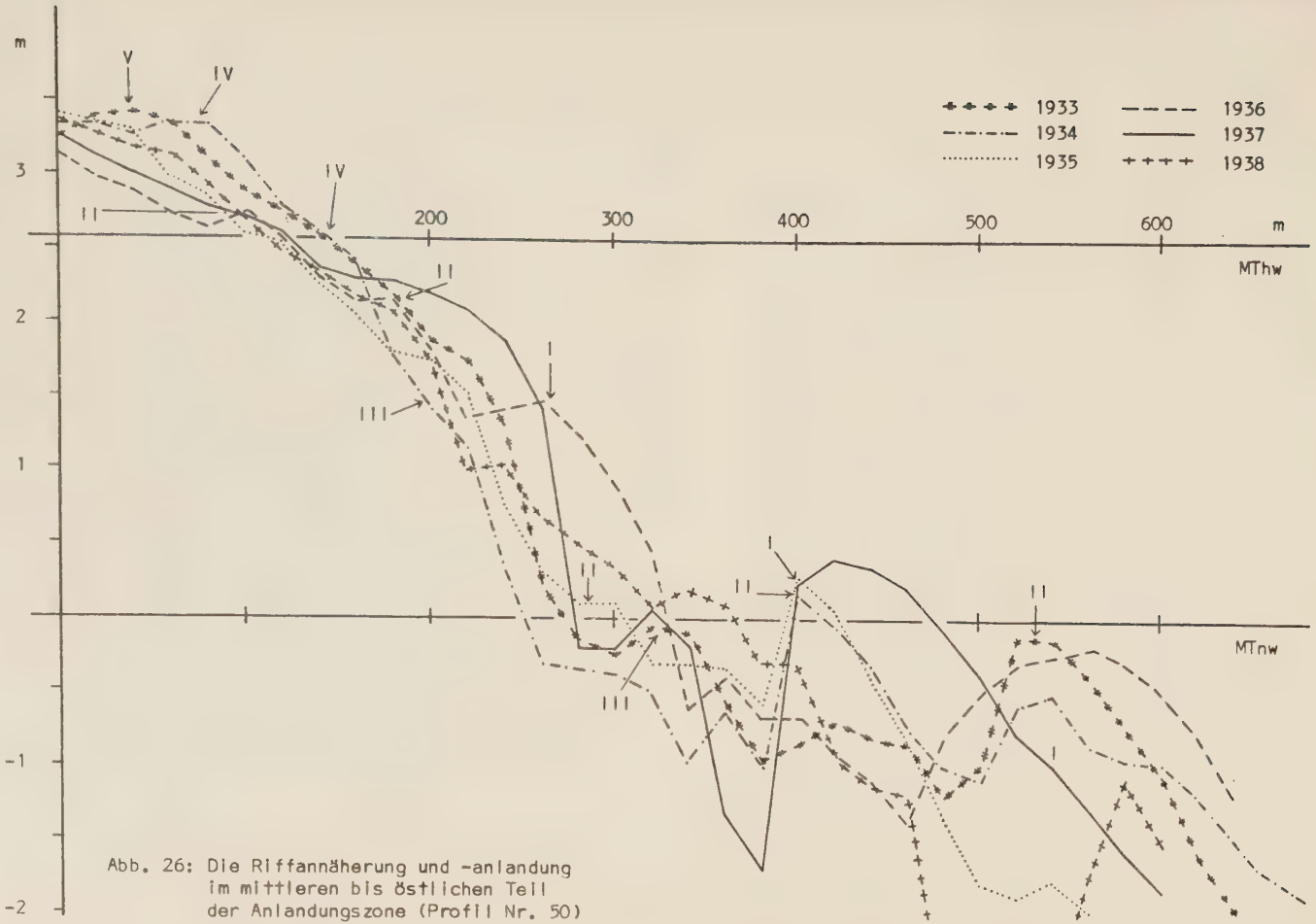


Abb. 26: Die Riffannäherung und -anlandung im mittleren bis östlichen Teil der Anlandungszone (Profil Nr. 50)

2.2.1.3.1 Formale Unterschiede

Die Riffbreite:

Die östlichen Riffe erlangen zu keinem Zeitpunkt die Breite der westlichen: Sie sind im Stadium der Annäherung an der Sohle im Mittel 230 m breit (Unterschied: -39 %). Im Anlandungsstadium spielen sie eine ebenso untergeordnete Rolle; sie erreichen ein Ausmaß von durchschnittlich 150 m (Unterschied: -40 %).

In der Breitenveränderung im Laufe des Gesamtprozesses des In-den-Strand-Aufgehens besteht jedoch keine so große Abweichung, denn die fast genaue Übereinstimmung zwischen den angeführten Unterschieden läßt erkennen: Ein östliches Riff verringert seine Breite beim Vorrücken gegen die Uferlinie und beim Anlanden im beinahe gleichen Verhältnis wie ein Gebilde im Westteil während derselben Entwicklungsphasen.

Die Riffhöhe:

Wenn das für die westlichen Riffe festgestellte Abhängigkeitsverhältnis zwischen horizontalem und vertikalem Ausmaß auch für die östlichen zutreffen soll, müssen sie auch über eine geringere Höhe verfügen. - Das ist der Fall:

Die östlichen Riffe weisen z. B. im Zustand, der der Annäherungsphase e im Bereich von Prof. Nr. 46 ungefähr vergleichbar ist, mit 1,75 m Gesamthöhe nur gut 47 % des Ausmaßes der westlichen Gebilde auf. Die entsprechenden Werte machen in der Anlandungsphase a 1,80 m bzw. etwa 49 % aus. Da die Höhe ein und desselben Riffs in beiden Fällen sowohl bei der Annäherung als auch bei der Anlandung um knapp die Hälfte niedriger ist, wird - was den relativen Veränderungsumfang während des gesamten Entwicklungsprozesses angeht - wie im Fall der Breite eine deutliche Übereinstimmung sichtbar.

> Vergleicht man das Mittel aus beiden Höhendifferenzen (48,7 %) mit dem Durchschnitt der Differenzen, die sich bezüglich der Breite zwischen den Riffen beider Abschnitte ergeben (39,5 %) so zeigt es sich allerdings: Das vertikale Wachstum spielt im Ostteil im Verhältnis zur Breitenentwicklung eine geringere Rolle. Es liegt zwischen Höhe und Breite ein Abhängigkeitsverhältnis vor, daß weniger ausgeprägt ist als das im W. - Würde man dort ein Verhältnis von 1 : 1 annehmen, käme man bei den östlichen Riffen zu einem von 1 : -1,2.

Die Hangneigungen:

Hinsichtlich ihrer Luv- und Leehangneigung unterscheiden sich die Riffe des Ostteils teilweise ebenso auffällig wie nach Breite und Höhe. Der Unterschied resultiert aber nicht aus mehr oder weniger gleich großen Abweichungen während so gut wie aller Phasen des Wanderungsprozesses. Solange sich nämlich ein Riff noch im Zustand der ersten Annäherung befindet, fallen seine Hänge hier grundsätzlich weder erheblich steiler noch flacher ab als die Hänge eines westlichen Riffs. Erst in den anschließenden Entwicklungsphasen treten sehr deutliche Unterschiede auf.

Abb. 27

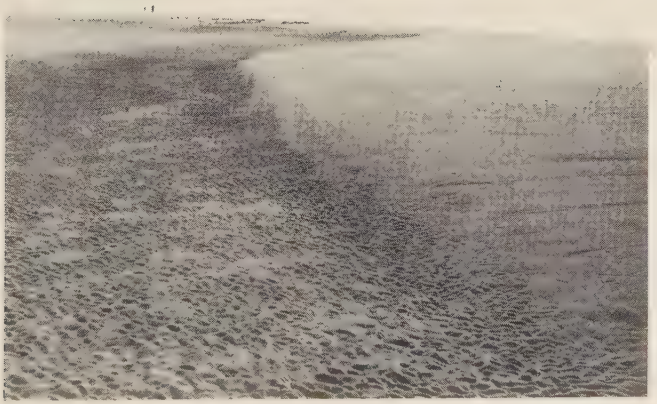


Abb. 28

Abb. 27: Riff setzt im Bereich des oberen Vorstrandes zur Anlandung an; sein leeseitiger Priel, der sich bereits auf dem unteren nassen Strand befindet, ist nicht so tief wie im entsprechenden Stadium weiter westlich (östlicher Abschnitt der Anlandungszone, Blick NW)

Abb. 28: Übergang zwischen zwei Riffen (rasche Anlandungsfolge) auf dem unteren nassen Strand; mäßig ausgeprägter Priel (östlicher Abschnitt der Anlandungszone, Blick WNW)

Abb. 29

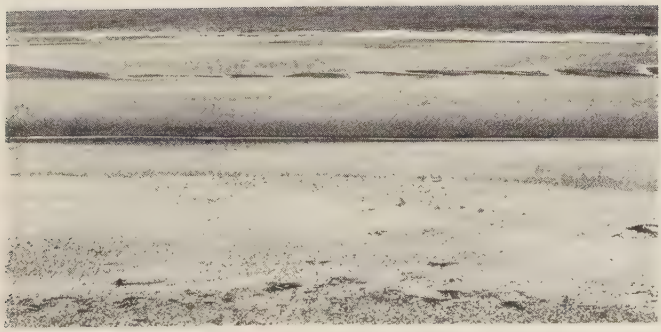


Abb. 30

Abb. 29 u. 30: In etwas schnellerer Folge als weiter westlich landen die Riffe im östlichen Abschnitt der Anlandungszone an; hier: drei Riffe (mittlerer und oberer nasser Strand, Blick O bzw. N)

So hebt sich der Luvhang durch flachere Neigung deutlich ab. Er ist beispielsweise in jenem Zustand, der der Annäherungsphase e im Bereich von Prof. Nr. 46 entspricht, mit einer Neigung von 1,20 % (Riff IV, 1. Jahr) um ein knappes Sechstel flacher. Im Anlandungsstadium (= Phase a) bleibt er mit einem Gefälle von 1,12 % (Riff IV, 2. Jahr) sogar um etwa ein Drittel hinter dem vergleichbaren westlichen Wert zurück.

Der Leehang verhält sich ähnlich: Bei fortgeschrittener Annäherung ist seine Neigung geringer als die des westlichen Riffs. Sie macht z. B. zu dem der Annäherungsphase c entsprechenden Zeitpunkt ungefähr 2,20 % (Riff II, 1. Jahr) aus und bleibt damit um ein knappes Viertel zurück. Während der Entwicklungsphasen, in denen in beiden Bereichen das Neigungsmaximum (im W: R5-Zustand; im O: mittleres Riff des 5. Jahres) vorliegt, schneidet der östliche Leehang besonders schlecht ab: Da er sich nur um etwa 7 % neigt, ist er um gut die Hälfte flacher als der des westlichen Riffs.

Gründe für die Neigungsdifferenzen:

Da im östlichen Teil der Anlandungszone die kleinräumige Krafteeinwirkung vor allem bei den morphologisch sehr bedeutsamen W- bis NW-Windlagen, wie gesagt, keine so deutliche Ausprägung frontal gegen den Strand und damit auch keine in entgegengesetzter Richtung aufweist wie weiter westlich, werden die Riffe hier sowohl von See her als auch aus Richtung Insel weniger aufgehöht. Letzteres hängt damit zusammen, daß die unmittelbar im Rifflee wirksame ausräumende Komponente etwas schwächer ist als an vergleichbarer Stelle im Westteil: Zum einen erlangen die Brandungstätigkeit und Schwallströmung und infolgedessen der Rippstrom in der leeseitigen Rinne bei abgeschwächter frontaler Auflaufrichtung eine geringere Stärke. Zum anderen wird durch den kleineren Umfang der Riffe, die selber durch dieses Ausmaß der Brandungstätigkeit und den weniger strandfrontalen Materialtransport bedingt sind, nicht so viel Wasser gestaut und am meerwärtigen Rücklauf gehindert.

Das Fehlen einer tiefen leeseitigen Rinne sogar während des Zeitraumes, in dem sich die Riffe unmittelbar vor dem In-den-Strand-Aufgehen befinden, ist auch dafür verantwortlich, daß die gesamte Verfrachtungsfläche vom oberen Vorstrand bis zum MThw-Bereich sowohl im ganzen flacher abfällt, als auch in den einzelnen Abschnitten eine gleichmäßigere Neigung aufweist als der Vergleichshang im W.

2.2.1.3.2 Die Anzahl der Riffe, ihr Abstand und ihre Verlagerungsgeschwindigkeit

Die Anzahl und der Abstand:

Während im Gebiet von Profil Nr. 46 neben dem Hauptriff lediglich in dessen Anlandungsphase ein zweites Gebilde in den Beobachtungsbereich ein-

wandert, treten bei Profil Nr. 50 gleichzeitig fünf Riffe auf. Vor allem bei weit fortgeschrittener Anlandung weisen sie allerdings teilweise keine so ausgeprägte Riffgestalt auf wie die Gebilde weiter seewärts.

Die Schwerpunkte der fünf Riffe befinden sich im Zeitraum, der der westlichen Annäherungsphase a entspricht, ungefähr 760 m (Riff I = das zuletzt ins Beobachtungsgebiet eingedrungene Gebilde) bis 40 m (Riff V = das am längsten im Beobachtungsgebiet befindliche Gebilde) vom Ausgangspunkt der Messungen entfernt (Tab. 6). Der Abstand ist zwischen den inselfernsten und den mittleren Gebilden größer als der zwischen den mittleren und den inselnächsten.

> Daß dies nicht nur während des besagten Zeitraumes der Fall ist, sondern daß Riffabstände grundsätzlich um so kleiner sind, je näher die Gebilde der Uferlinie liegen, soll am Beispiel des räumlichen Verhaltens der Riffe I und II zueinander bei ihrem Vorrücken gegen den Strand aufgezeigt werden. Diese Riffe finden Beachtung, weil sie - im Gegensatz zu den gleichzeitig auftretenden Gebilden - am längsten verfolgt werden können; zu Beginn des Beobachtungszeitraumes sind sie nämlich gerade erst vom Riffbogen her in das Untersuchungsgebiet vorgedrungen. Wie der Kurvenverlauf in Abb. 31 zeigt, nimmt die Entfernung zwischen ihnen von Jahr zu Jahr sehr deutlich ab, und zwar nicht unregelmäßig, sondern gleichsam in gesetzmäßigem Umfang.

Die Verlagerungsgeschwindigkeit:

Das am besten beobachtbare Riff I verlagert sich wesentlich schneller gegen den Strand als das vergleichbare Gebilde im Westteil. Es führt eine durchschnittliche Bewegung um knapp 140 m/Jahr aus; es rückt also im Mittel 1,42mal so schnell vor wie ein westliches Gebilde. Vom Vordringen in den oberen Vorstrand bis zum endgültigen In-den-Strand-Aufgehen benötigt es nur zwei Drittel der Zeit: Nach sechs Jahren ist die Anlandung so gut wie beendet.

Wie im W läuft das Vorrücken allerdings nicht in mehr oder weniger gleich großen Schüben konstant ab. Es liegt vielmehr eine Bewegung mit deutlichen Geschwindigkeitsänderungen vor. Diese Änderungen verlaufen freilich in gesetzmäßigen Bahnen: Es besteht auch hier eine Abhängigkeit zwischen der Lage, d. h. dem Grad der Annäherung bzw. Anlandung der Riffe, und der Verlagerungsgeschwindigkeit.

> Ein östliches Riff bewegt sich in der Anlandungszone von Jahr zu Jahr langsamer fort. Die letzte meßbare Rate ist nur halb so groß wie die zwischen den beiden ersten Phasen. Verglichen mit dem entsprechenden Wert eines westlichen Riffs ist das allerdings ein günstiges Ergebnis. Dort kommt nämlich zwischen der größten Veränderungsrate (Annäherungsphase a/b) und der kleinsten (Annäherungsphase f/Anlandungsphase a) ein Verhältnis von 6 zu 1 zustande. Die wesentlich stärkere Geschwindigkeitsverringerung kurz vor dem endgültigen Anlanden findet einen Niederschlag im Abrükken jener Kurve, durch die die Lageänderung und damit die Geschwindigkeit des beobachteten westlichen Riffs zum Ausdruck gebracht wird, von der Kurve für Riff I (Abb. 32).

Die Gründe für die im ganzen höhere Wandergeschwindigkeit der östlichen Riffe und für die wesentlich gleichmäßigere Veränderung ihrer ge-

Riff	1.	2.	3.	4.	5.	6. Jahr
I	760	540	400	280	170	65
II	530	400	290	190	95(?)	-
III	320	210	115(?)	-	-	-
IV	160	70	-	-	-	-
V	40	-	-	-	-	-

Tab. 6 : Der Abstand der Riffschwerpunkte vom Ausgangspunkt der Messungen in den einzelnen Entwicklungsphasen (in m)

Riff	1./2.	2./3.	3./4.	4./5.	5./6. Jahr
I	230	140	120	110	105
II	130	110	100	95(?)	-
III	110	95(?)	-	-	-
IV	90	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-

Tab. 7 : Die jährlichen Verlagerungsraten der Riffe beim Vorrücken gegen den Strand (in m)

Riff	1.	2.	3.	4	5.	6. Jahr
I/II	230	140	110	90	75	-
II/III	210	190	175(?)	-	-	-
III/IV	160	140	-	-	-	-
IV/V	120	-	-	-	-	-

Tab. 8 : Die Abstandsveränderungen zwischen den jeweils benachbarten Riffen beim Vorrücken gegen den Strand (in m)

Alle Tabellen beziehen sich auf Riffe im mittleren bis östlichen Teil der Anlandungszone (Profil Nr. 50)

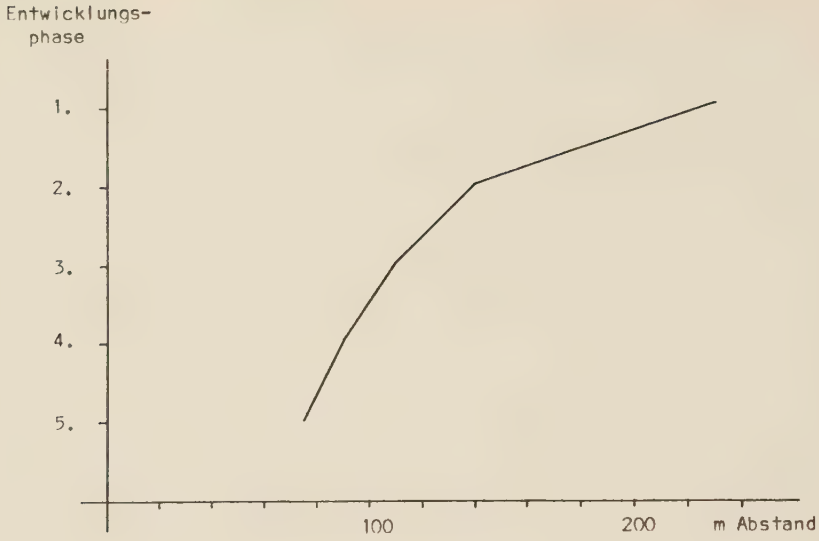


Abb. 31: Die Abstandsveränderung zwischen Riff I und II

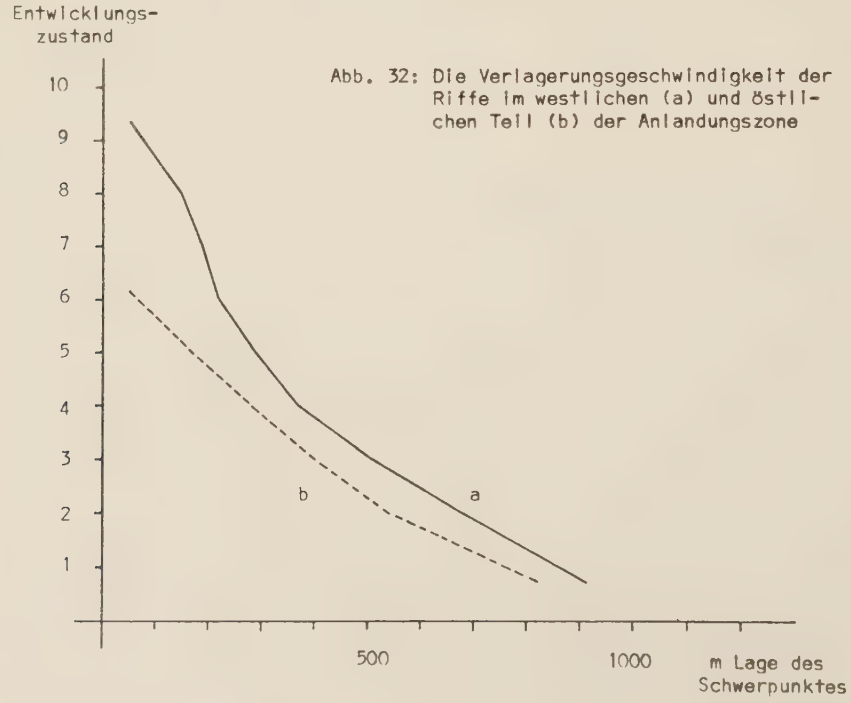


Abb. 32: Die Verlagerungsgeschwindigkeit der Riffe im westlichen (a) und östlichen Teil (b) der Anlandungszone

samten Fortbewegung sind auch diesmal in der Wirkungsrichtung und -intensität der hydrologischen Kräfte und - was eigentlich wieder bedeutet: in diesen Kräften - in der Riff- und vor allem der Strandgestalt zu suchen:

a. Die Gebilde haben wegen der nicht ganz strandfrontalen und ohnehin etwas geringeren Materialzufuhr ein kleineres Volumen.
b. Der Vorstrand und Strand der westlichen Ostplate als Anlandungszone neigen sich weniger.
c. Es fehlt eine ausgeprägte strandparallele Vertiefung, von der die Strandneigung vergrößert und die ankommenden Riffe zum Überwinden, also zu Geschwindigkeitsverlusten, gebracht werden.

2.2.1.3.3 Die morphologische Bedeutung der Unterschiede

Trotz der größeren Anzahl, der höheren Verlagerungsgeschwindigkeit und der gleichmäßigeren Geschwindigkeitsveränderung sind die östlichen Riffe im ganzen scheinbar nicht günstiger für die Inselentwicklung als die Riffe im Westteil der Anlandungszone:

> Der ungefähr dreieckige Aufriß des Riffs im Bereich von Prof. Nr. 46 einerseits und eines mittleren Riffs im Bereich von Prof. Nr. 50 andererseits hat einen mittleren Flächeninhalt von 528 bzw. 119 qm. Multipliziert man diese Produkte mit der Anzahl der Riffe, die im Mittel im jeweiligen Profilbereich anzutreffen sind, so kommt ein Ergebnis von 924 (Prof. Nr. 46) und 595 (Prof. Nr. 50) zustande. Der Multiplikator ist nämlich im ersten Fall 1,75, weil im Westteil neben dem alles beherrschenden Hauptriff nur zu Beginn und gegen Ende des Beobachtungszeitraumes ein weiteres Riff auftritt. Es hat die Gestalt eines Akkumulationsgebildes, das bereits völlig in den Strand aufgegangen ist (Beginn der dargestellten Entwicklung) bzw. gerade das Untersuchungsgebiet vom Riffbogen her erreicht. - Im zweiten Fall ist der Multiplikator 5, - entsprechend der Anzahl der gleichzeitig auftretenden Riffe.
>
> Die Unterschiede in der Bewegung finden Berücksichtigung, indem die obigen Zwischenergebnise mit der jeweiligen mittleren Verlagerungsgeschwindigkeit multipliziert werden. Das Resultat: 90.090 (Prof. Nr. 46) bzw. 83.300 (Prof. Nr. 50).

Daraus läßt sich schließen: Die Materialzufuhr auf einen bestimmten Strandabschnitt im westlichen Teil der Anlandungszone, also aus dem inneren Abschnitt des Riffbogens der Otzumer Balje heraus, muß 1,1mal größer sein als die Zufuhr auf einen entsprechend großen Abschnitt im mittleren bis östlichen Teil der Zone.

Ob die erstgenannte Zufuhr allerdings tatsächlich in vollem Umfang der Zufuhr in den Ostteil an Bedeutung für die weitere positive Inselentwicklung überlegen ist, erscheint aus folgenden Gründen fraglich:

a. Der Westteil ist nicht so lang wie der östliche, und die in Riffgestalt insgesamt anlandende Sandmenge daher geringer.
b. Die Menge jenes Sandes, der unabhängig vom Riffkörper in Gestalt

der ihm aufgesetzten kleinformatigen Transportfiguren und auch noch unabhängig von dieser als Einzelkorn strandwärts geführt wird, dürfte im westlichen Teil - nicht nur wegen der kleineren Gesamtbreite der Zone - kleiner sein: Dort muß er ja zumindest zeitweilig eine viel ausgeprägtere und von transportintensiveren Längsströmungen bestimmte Rinne und einen steileren Strandhang sowie vorher einen steileren Luvhang überwinden.

Somit wäre der mittlere bis östliche Teil der Anlandungszone eigentlich sogar für Spiekeroog im allgemeinen und - von ihrer sowieso günstigeren östlichen Lage ganz abgesehen - in Bezug auf die Ostplate-Entwicklung im besonderen morphologisch bedeutsamer als der westliche,- freilich aus einem anderen Grunde als es die größere Zahl und die höhere Verlagerungsgeschwindigkeit seiner Riffe vermuten lassen.

2.2.2 Die Kleinformen der Materialverfrachtung

Der inselstabilisierende und -entwickelnde Materialtransport gegen den Spiekerooger Nordstrand erfolgt nur im großen in Gestalt der beschriebenen Riffe. Im Detail hat er ein anderes Aussehen: Die Rieffoberfläche besteht bekanntlich aus zahllosen kleinen und kleinsten Transportfiguren unterschiedlicher Form; auch die Baljen und Priele sind auf diese Weise gestaltet.

2.2.2.1 Die Voraussetzungen für die Entstehung und Entwicklung

Das Zustandekommen und Aussehen der Transportfiguren hängt wesentlich von zwei Variabeln ab, die in ihrer Funktion und Bedeutung hier nur vereinfacht aufgezeigt werden können:

a. die Wassertiefe und die noch wichtigere
b. Strömungsgeschwindigkeit (Strömungen hier: Seegang; seegangbedingte Schwall-, Rück- und Rippströmung sowohl bei auf- als auch ablaufendem Wasser)

Beide müssen stets zusammengesehen werden; die Kenntnis allein von Tiefe oder Geschwindigkeit an einer bestimmten Strandstelle läßt in der Regel nur begrenzte Voraussagen zur Form und Größe der dort entstehenden Figuren zu. Das gilt selbst dann, wenn die besagte Kenntnis auf sehr genauen Untersuchungen basiert.

zu a.: Transportfiguren stellen sich bei einer Tiefe von deutlich mehr als 1 cm ein (Strömungsgeschindigkeit hier und bei den folgenden Bemerkungen zur Tiefe: etwa 20 cm/sek). Seichtes Wasser erzeugt nur im Strömungsschatten von Hindernissen (z. B. Muschelschalen) kolkartige Hohlformen, denen sich stromabwärts niedrige Akkumulationsformen anschließen. Derartig seichtes und langsames Wasser läßt nämlich nicht zu, daß sich eine deutliche Geschwindigkeitsdifferenz zwischen der bodennächsten Schicht (= Grenzschicht) und den Schichten darüber ausbilden kann.

Je größer die Tiefe ist, desto instabiler wird die Grenzschicht, die ständig Körner aufnimmt und sich bei Überlastung einrollt, um dann das Transportmaterial niederzuschlagen, und desto mächtiger sowie regelmässiger wird das Rippelprofil. Es vergrößert sich allerdings nicht in gleichem Maße wie die Tiefe zunimmt; der Wasserspiegel würde sonst eine Wellenform erhalten. Der mittlere Rippelabstand wächst mit der Quadratwurzel der Tiefe (PRECHTL, 1965).

zu b.: Da der Auftrieb der Körner im Wasser größer ist als im Einwirkungsbereich von Wind (Dichteverhältnis zwischen Wasser und Luft 1 : 740) reicht zu ihrer Fortbewegung schon eine Strömungsgeschwindigkeit von wenigen dcm/sek aus. So verfrachtet Wasser z. B. feinen Mittelsand (= etwa 0,25 mm) schon bei einer Geschwindigkeit von rund 15 cm/sek; der Wind bewegt ihn erst ab ungefähr 4 m/sek. Wegen des niedrigen Schwellenwertes ist die Impulsausstattung des Sandes im Wasser gering. Das gilt sowohl hinsichtlich der vertikalen als auch der horizontalen Komponente des Impulses. Der Impuls nimmt allerdings mit dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit zu (PRECHTL, 1965).

Die Geschwindigkeitsvergrößerung drückt sich in verstärkter Aufnahmefähigkeit der Grenzschicht, aber auch in erhöhter Wirbelbildung bei ihrem Einrollen aus. Daraus resultiert zunehmende Materialabtragung von der Strömungssohle sowie entsprechend große Anhäufung: Die Rippeltäler gewinnen an Tiefe; die Rippel höhen sich auf und erhalten steilere Hänge. Der Abstand von Rippelkamm zu Rippelkamm wächst mit dem Strömungsimpuls.

2.2.2.2 Die morphologische Bedeutung der Transportfiguren

2.2.2.2.1 Die einzelnen Formen, ihre Verbreitung und der Transportumfang

Die Figuren der Riffe und Priele im Bereich des nassen Strandes lassen sich nach der jeweiligen Erscheinungsform des sie erzeugenden Wassers (= Erscheinungsform bestimmt durch die Wirkungsintensität, -dauer und -richtung der Strömung) in drei Hauptgruppen teilen (unter Verwendung der Angaben von REINECK, 1959):

I. Seegangsmarken

- symmetrische Rippel
- asymmetrische Rippel

II. Groß- und kleinformatige Strömungsmarken

Großformen:
- einfache Großrippel (gerader Kamm, Kamm in D-Form)
- Rhomboedergroßrippel

Kleinformen:
- Strömungsrippel
- Zungenrippel
- Rhomboederrippel

III. "Schießwasser"-Figuren

- Sandwellen
- flache Glättungsformen

In Tab. 9 werden genaue Angaben zu Bildungsbedingungen, Ausrichtung, vorherrschenden Verbreitungsgebieten und morphologischer Bedeutung dieser Transportfiguren gemacht.

Von der Größe der Figuren hängt es ab, ob sie in ihrem jeweiligen Verbreitungsgebiet nach und nach, im Laufe der Phasen der Wasserbedeckung, ein Gefüge aus dünnen (= wenige mm; Glättungsformen) oder dicken (= mehrere cm; Großrippel, Sandwellen) Schichten anlegen und damit eine geringe oder umfangreiche Materialumlagerung repräsentieren. Wo Großrippel vorherrschend auftreten, bilden sich also mächtige-

Tab. 9: Die wichtigsten Transportformen im Bereich der Strandriffe und -priele (unter Verwendung der Angaben von REINECK, 1959)

	Transportfigur	Bildungsbedingung	Ausrichtung	Vorkommen	Verfrachtung
I.	Seegangsmarken:				
	a. symmetrische Seegangsrippel	grundberührender Seegang	Kämme rechtwinklig z. Seegangsrichtg.	Kamm, Leehang; Strandpriel	minimal
	b. asymmetrische Seegangrippel	" mit zeitungleichen Schwingungen	steilerer Hang wellenabwärts	Kamm, Leehang; Strandpriel	gering
II.	Strömungsmarken:				
Großformen	a. Großrippel a1. gerader Kamm a2. Kamm D-Form	starke Strömung (ca. 100 cm/sek) Wassert. über 50 cm	steilerer Hang strömungsabwärts	Luvhang (a2), Kamm (a2); Strandpriel	groß
Großformen	b. Rhomboedergroßrippel	starke Strömung (ca. 100 cm/sek) Wassert. um 50 cm	Winkelöffnung strömungsabwärts	Leehang	mittel bis groß
Kleinformen	c. Strömungsrippel	mittl. Strömung (30-90 cm/sek)	steilerer Hang strömungsabwärts	Leehang	mittel
Kleinformen	d. Zungenrippel	ger./mittl. Ström. Wassert. unt. 20 cm	steilerer Hang strömungsabwärts		gering
Kleinformen	e. Rhomboederrippel	geringe Strömung Wassert. 2 - 3 cm	Winkelöffnung strömungsabwärts	Leehang	gering
III.	"Schießwasser"-Fig.:				
	a. Sandwellen	sehr fl., hochbeschleunig. Wasser	Längsachse i.recht. Winkel st.abwärts	ob. Luv- u. Leeh., Kamm	mittel bis groß
	b. Glättungserscheinungen	" Windwasser		Luvhang, Kamm	gering

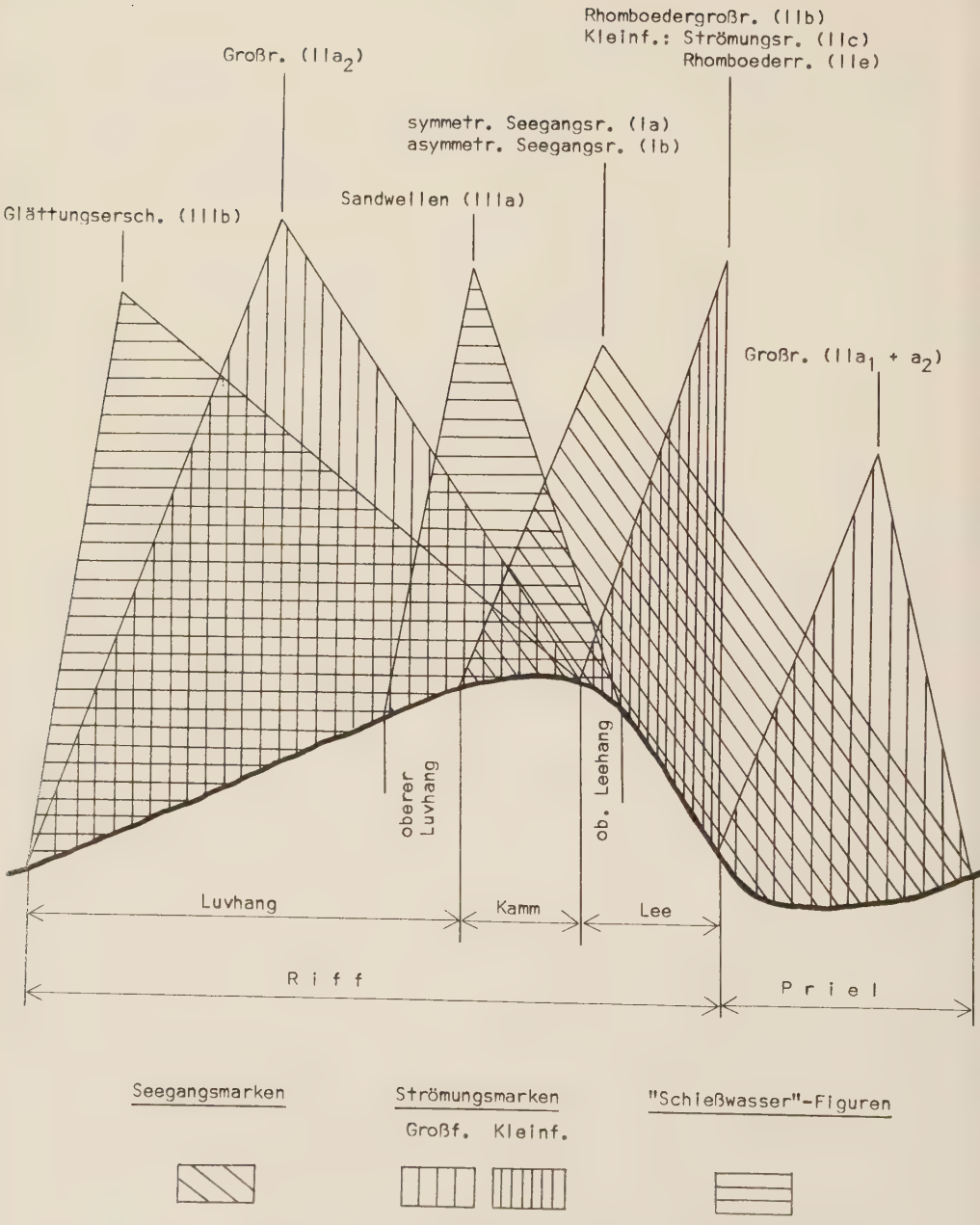


Abb. 33: Die hauptsächlichen Entstehungsgebiete der wichtigsten Transportformen (vgl. Tab. 9)

re Schichtverbände als im Bereich von Seegangsmarken, kleinformatigen Strömungsrippel bzw. Glättungsfiguren. Nach dem Umfang des Materialversatzes lassen sich die Figuren folgendermaßen gliedern (Tab. 9 und Abb. 33):

Mittlere bis große Verfrachtung:

Am transportintensivsten sind die Großrippel. Sie entstehen bei starker Strömung und einer Wassertiefe von mehr als 50 cm. Ihr Verbreitungsgebiet ist in der Regel die Seeseite und der Kamm des Riffs (Abb. 34). Ihnen entsprechen auf dem Leehang die Rhomboedergroßrippel, die allerdings nur einen mittleren bis großen Materialversatz zum Ausdruck bringen. Großrippel entstehen auch im Priel, und zwar besonders dann, wenn er in Tiefe und meerwärtiger Neigung sehr ausgeprägt ist, so daß sich hohe Strömungsgeschwindigkeiten ergeben (Abb. 35). Zu den transportintensiven Figuren sind außerdem die Sandwellen zu zählen (Abb. 36). Sie werden vom flachen, aber hochbeschleunigten Wasser, das über das Riff in den Priel strömt, auf dem oberen Luv- und Leehang sowie dem Kamm angelegt (dazu unten: Überformungsprozeß).

Mittlere Verfrachtung:

Die Strömungsrippel bilden die zahlenmäßig bedeutendste Gruppe der kleinformatigen Strömungsmarken. Sie kommen bei geringer bis mittlerer Strömungsgeschwindigkeit und mittlerer Wassertiefe zustande. Ihr Verbreitungsgebiet ist groß; am häufigsten sind sie auf flachen Leehängen (Abb. 37).

Geringe Verfrachtung:

Alle übrigen Figuren drücken nur einen kleinen Materialtransport aus. Es sind die Seegangsmarken, die vornehmlich im Bereich des Riffkamms und -lees sowie im Priel auftreten, ferner alle kleinformatigen Strömungsmarken außer den genannten Strömungsrippel sowie die vom stark windbewegten Flachwasser erzeugten Glättungsformen des Luvhanges und Kamms (Abb. 37).

Die Berücksichtigung der Glättung spielt bei der richtigen Beurteilung der Transportvorgänge an bestimmten Riffstellen eine wichtige Rolle: Die Großformen im Gebiet von Luvhang, Kamm und oberem Abschnitt der Leeseite sind häufig nicht unmittelbar auszumachen; damit bleibt auch die erhebliche Bedeutung dieser Riffabschnitte als wichtige Verfrachtungszonen zunächst teilweise unklar. Der Grund: Beim Trockenfallen werden die ursprünglichen Figuren an den besagten Stellen durchweg überformt, denn es kommt nun eine etwas andere Kräftekonstellation (flaches, teils hochbeschleunigtes = "schießendes" Wasser!) zustande. Der Überformungsprozeß zeigt sich in der Anlage wellenartiger Bildungen auf den höchsten Riffpartien und von oberflächenparalleler Feinschichtung vor allem auf der Luvseite, wie sie oben im Zusammenhang mit den transportintensiven Formen (Sandwellen) bzw. dem geringen Materialumsatz (Glättungsfiguren) aufgezeigt worden sind. Noch deutlicher wird er an Stellen mit Brandungseinwirkung; dort sind die Glättungskräfte nun so stark, daß es - normalerweise freilich in schächerer Form als bei schwerem Seegang - zur Einebnung aller Figuren kommt und sich ein Gefüge aus glatten Sanddecken bildet (Abb. 38).

Innerhalb der Glättungszonen lassen lochartige Vertiefungen von unterschiedlicher Größe die Oberflächengestalt im Zustand der Wasserbedeckung während der hauptsächlichen Transportphase erahnen. Sie müssen als Reste von Großrippeltälern angesprochen werden (Abb. 39).

Das Innengefüge macht deutlich, daß die Riffe bei Wasserbedeckung tatsächlich viel stärker durch Großrippel geprägt werden, daß die Sandverfrachtung in größerem Umfang vonstatten geht, als es nach dem Aussehen der trockengefallenen Oberflächen den Anschein hat.

> Nach REINECK (1959) besteht das Innengefüge unter der Brandungsseite nur zu 11,5 % aus ebener Feinschichtung (Schichtenmittel: 2 mm) und zu 13,5 % aus Kleinrippelschichtung. Der Anteil der Großrippelschichtung (Schichtenmittel: 5 cm) beträgt dagegen 75 %.
>
> Noch augenfälliger wird die Bedeutung der Großrippel im Gefüge unter dem Kammbereich, wo ja - bedingt durch die Vorgänge in der Endphase des Trockenfallens - die Sandwellen und Glättungszonen häufig zu dominieren scheinen: Die Großrippelschichtung ist hier mit 85 % beteiligt. Die Kleinrippelschichtung macht lediglich 12 % und die ebene Feinschichtung sogar bloß 3 % aus.

2.2.2.2.2 Die Transportrichtungen und ihre Bedeutung

Die Ausrichtung der Transportfiguren erhellt, wie die kleinräumige Materialbewegung im Bereich des nassen Strandes abläuft und welche Folgen sich daraus für die Inselentwicklung ergeben.

2.2.2.2.2.1 Die mittleren Bewegungstendenzen

Luvhang:

Die Figuren weisen im Riffluv zu gut 60 % gegen den südöstlichen Sektor. Der Sand wird hier also offensichtlich zum überwiegenden Teil schräg inselaufwärts befördert. Die wichtigste Richtung ist dabei der SO; allein zwei Drittel der auflandigen Figuren sind auf ihn hin orientiert. Das entspricht fast 50 % der gesamten luvseitigen Figuren.

Daß die Resultante aller Luvtransporte nicht genau nach SO zeigt, sondern etwas stärker auflandig verläuft und deutlich auf SSO abweicht (Ausrichtung: 146,3°), hängt vornehmlich nicht von der Bedeutung des südwestlichen Sektors ab, denn nur etwa 10 % der Figuren sind auf seine Richtungen ausgerichtet. Der Resultante-Verlauf wird vielmehr primär vom Anteil des nordwestlichen Sektors bestimmt: Immerhin fast ein Fünftel aller luvseitigen Marken bringen einen Transport besonders nach NW bis N zum Ausdruck.

Als Ursache hierfür kommt der Rückstrom in Frage, der während der Tidephase unentwegt auf jeden der transportstarken, auflandigen Schwallströme folgt. Er fließt dem natürlichen Gefälle gemäß weitgehend di-

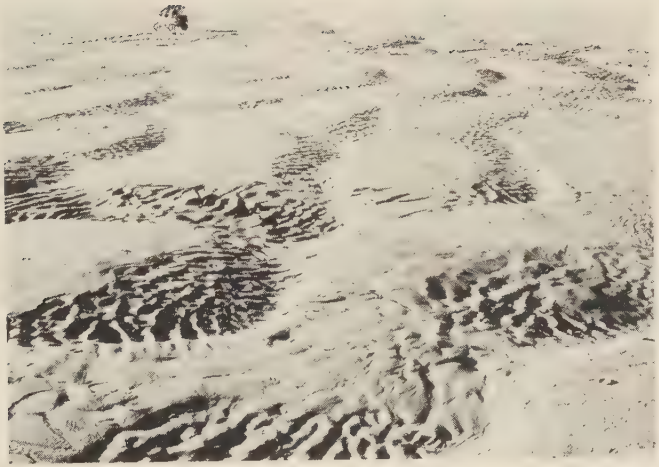


Abb. 34

Abb. 35

Abb. 34: Leicht überarbeitete Großrippel auf dem Riff-Luvhang (westlicher Abschnitt der Spiekerooger Anlandungszone)

Abb. 35: Transportintensive Großrippel im Strandpriel (westlicher Abschnitt der Anlandungszone)

Abb. 36

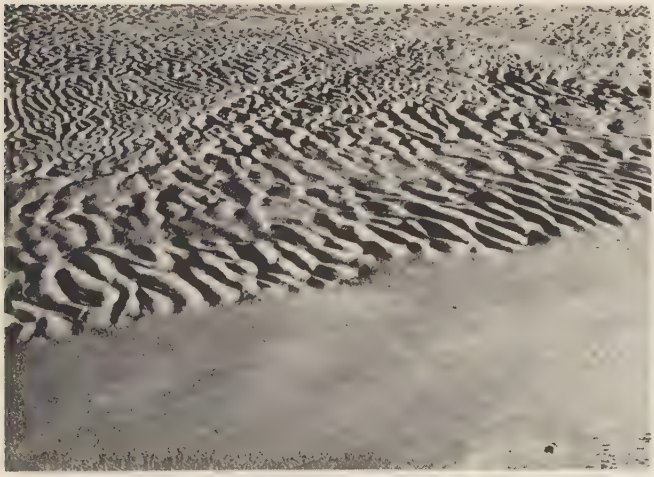


Abb. 37

Abb. 36: Sandwellen auf dem Luvhang und Kamm des Riffs, durch flaches, hochbeschleunigtes Wasser erzeugt (östlicher Abschnitt der Anlandungszone)

Abb. 37: Seegangsrippel im seichten Strandpriel; vorn "Schießwasser"-geglätteter Riffkamm (mittlerer Abschnitt der Anlandungszone)

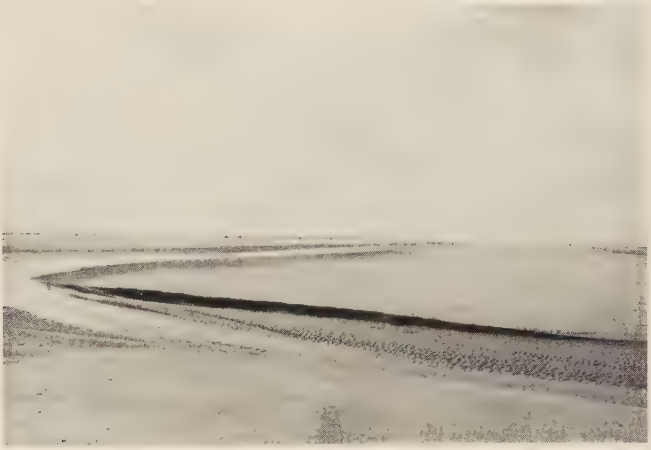


Abb. 38

Abb. 39

Abb. 38: Brandungskräfte haben den Luvhang und Kamm des Riffs geglättet; an die Stelle von Figuren sind glatte Sanddecken getreten (östlicher Abschnitt der Anlandungszone)

Abb. 39: Weitgehend geglättete Großrippel auf dem Riff-Luvhang (mittlerer Abschnitt der Anlandungszone)

rekt seewärts und bestimmt in diesem Sinne das luvseitige Transportgeschehen deutlich mit. Seine Intensität hängt jeweils von der des vorausgehenden Schwalls ab. Sie ist aber in der Regel geringer; es gelangt mehr Sand inselwärts als zurück in Richtung See: Bezogen auf die Inselaufhöhung und -ausweitung liegt im Riffluv eine positive Transportbilanz vor.

Der Vergleich der mittleren luvseitigen Transportrichtung des Sandes mit der Verlagerungsrichtung des Riffkörpers auf dem nassen Strand läßt erkennen, daß die Materialbewegung nicht genau mit der Riffbewegung übereinstimmt. Ist die Riffachse - wie im Fall des untersuchten Prof. Nr. 46-Riffs kurz vor der Anlandung - auf 70° (= etwa ONO; leicht schräg vom Strand weg) ausgerichtet, ergibt sich zwischen beiden ein Winkel von ungefähr 15°; die Verlagerungsbahn des Riffs weicht um diesen Wert südwärts von der mittleren luvseitigen Transportrichtung des Sandes ab. Die Antriebskräfte, durch die der Weg des Riffs als Ganzes bestimmt wird, treten hier also keineswegs maximal in Erscheinung.

Riffkamm:

Wie auf der Seeseite geben auch im Kammbereich etwa 60 % aller Transportfiguren eine Materialbewegung in Richtung des südöstlichen Sektors zu erkennen. Daß als mittlere Richtung aber der O/OSO (Resultante-Ausrichtung: 102°) und nicht eine mehr südliche Richtung in Erscheinung tritt, hängt zum einen mit der erheblich geringeren Anzahl der Figuren mit südwestlicher (wie im Luvbereich) und vor allem mit der mit nordwestlicher Orientierung zusammen. So nimmt nicht einmal ein Zehntel des Sandes seinen Weg nach S - W - N. Zum anderen ist der nordöstliche Sektor mit einem Anteil von 30 % vertreten.

Die stärkere O-Orientierung der Kammfiguren schlägt sich in einem größeren Winkel zwischen der Verlagerungsrichtung der Riffachse und der mittleren Transportrichtung des Sandes nieder. Beim Achsenverlauf auf 70° beträgt er knapp 60°. Er ist also viermal größer als im Riffluv. Das Riff als Ganzes wird somit auf dem Kamm noch weniger in seiner fast auflandigen Verlagerungsrichtung bestimmt als auf der Seeseite.

Die Bedeutungszunahme der östlichen Richtungen vom Luv zum Kamm hat folgende Ursachen:

a. Der Schwallstrom büßt beim Passieren besonders der leeseitigen Kammabschnitte seine weitgehend rein auflandige Tendenz ein.

b. Da die Neigungsverhältnisse nun nicht mehr allein durch die nur meerwärtige Ausrichtung bestimmt sind, ist die Bahn des Rückstroms im Kammbereich weniger festgelegt als im Luv. Sie kann auch in nordöstliche Richtungen verlaufen, und das ist eine Voraussetzung für das sägeblattartige Wandern einer bestimmten Sandmenge im Riffluv, woraus wieder resultiert, daß sich das Riff als Ganzes ostwärts auszieht und dadurch die Materialversorgung der östlichen Inselteile verstärkt gewährleistet wird.

c. In beiden vorgenannten Punkten spielt der Faktor Wind eine wichtige Rolle: Da besonders die Strömungen aus Flachwasser, wie sie im Kammbereich auftreten, sehr sensibel auf Windeinwirkung reagie-

ren, und da im ostfriesischen Raum Winde westlicher bis nordwestlicher Herkunft nach der Schubstärke vorherrschen, werden die Strömungen im Sinne der Fließrichtung dieser Winde abgelenkt und angefacht.

Leehang:

Im Rifflee dominiert die auflandige Ausrichtung der Sandverfrachtung, und zwar deutlicher als im Luv: So gut wie alle Transportfiguren geben eine Materialbewegung ungefähr nach SSO an.

Daher ist auch der Abweichungswinkel von der Bewegungsbahn des Riffs kleiner als 5^{o}; zwischen Riffweg und Materialausrichtung besteht also nur eine unbedeutende Differenz.

Bedingt wird die inselwärtige Orientierung durch die Wirkungsrichtung des Schwallstroms; er fließt hier aufgrund der Exposition des Leehangs weitgehend auflandig. Da er vornehmlich großformatige Rippel erzeugt, ist der Verfrachtungsumfang dieser Riffstelle hoch. Dieser Umfang sowie die fast völlige Übereinstimmung zwischen der Achsenverlagerung und der Ausrichtung der Figuren beantworten die Frage, in welcher Riffzone am meisten dafür gesorgt wird, daß das Riff als Ganzes fast auflandig vorrückt: Im Lee erreicht die positive Materialbilanz ihr Maximum. Sie ist hier im Grunde sogar rein positiv.

Strandpriel:

Nicht ganz so eindeutig wie im Leebereich sind die Transportverhältnisse im Priel. Es lassen sich hier zwei wichtige Bewegungstendenzen feststellen. Sie resultieren aus Unterschieden in den Antriebskräften:

a. Die Figuren richten sich weitgehend entsprechend dem Prielverlauf und damit ungefähr rechtwinklig zur Riffbahn aus: Sie sind leicht ablandig orientiert, und zwar im Fall der Anlandungszone des Nordstrandes auf 70^{o} bis 80^{o} hin. Sie werden vom seewärts setzenden Rippstrom erzeugt, der - von den westlichen Winden noch angefacht - 80 bis 100 cm/sek und schneller fließt und daher fast ausschließlich Großrippel entstehen läßt. Die Sandbewegung zurück in Richtung Meer muß also erheblich sein.
b. Die Ausläufer des Schwallstromes erzeugen Großrippel, die schräg auf den Strand zulaufen. Daneben kommen asymmetrische Seegangsrippel mit ebenfalls vornehmlich auflandiger Ausrichtung zustande. Da sie zahlenmäßig klar überlegen sind, tragen sie den inselwärtigen Transport des Priels am stärksten (REINECK, 1959). Trotzdem erlangen sie nicht die Bedeutung der großformatigen Figuren des strandparallel ablaufenden Wassers, - auch nicht mit den auflandig ausgerichteten Großrippeln. Es liegt im Priel also in der Regel eine negative Materialbilanz vor.

2.2.2.2.2.2 Die kleinformatige Verfrachtung und der Riffversatz

Zusammengenommen weisen die Transportfiguren an den verschiedenen

Stellen von Riff und Priel eine Bewegungstendenz fast genau nach SO auf. Das belegt die bekannte Tatsache, daß die Sandverfrachtung im Gebiet des nassen Strandes der ostfriesischen Inseln schräg auflandig ausgerichtet ist. Daß als Mittel eine nicht noch mehr südliche Richtung auftritt, läßt erkennen: Die Sandbewegung, die beim Vordringen eines Riffs geradewegs gegen den nassen und dann den trockenen Strand erfolgt, übertrifft zahlenmäßig keinesfalls jene, die daneben mit ungefähr strandparalleler oder - zumindest zeitweiliger - seewärtiger Ausrichtung abläuft. Anders ausgedrückt: Es wandert nicht so häufig Material aus dem Vorstrandbereich direkt strandaufwärts wie indirekt auf kurzen oder langen Umwegen.

Die unmittelbar auflandige Bewegung spielt nicht nur nach der Zahl eine geringere Rolle, sondern auch was den Umfang des versetzten Materials betrifft. Die besonders transportintensiven Figuren sind im Kammbereich und vor allem im Priel zum überwiegenden Teil strandparallel oder ablandig orientiert. Der auf der Luvseite deutlich auflandige Sand setzt hier also seinen bisherigen Weg längst nicht in vollem Umfang fort.

Zahlenmäßig läßt sich das Verhältnis zwischen jener Materialmenge, die der positiven Inselentwicklung schnell dient, und der mit späterer Wirksamkeit bzw. ohne erkennbare inselmorphologische Bedeutung nicht fassen. Es fehlen bisher Möglichkeiten und Methoden zur Untersuchung der einzelnen Wanderschritte eines Sandkorns im Gebiet des nassen Strandes und besonders auf dem oberen Vorstrand.

Noch weitgehend unklar ist auch das Verhältnis zwischen der Wandergeschwindigkeit eines Kornes, einer Transportfigur und der des Riffkörpers. Aufgrund des Materialverhaltens im Rippelbereich ist aber anzunehmen, daß sich - wie beim äolischen Transport - das Gros der Körner schneller bewegt als der Rippel und dieser wieder über eine höhere Geschwindigkeit verfügt als das Riff: Der meiste Sand bewegt sich rollend oder unmittelbar in Bodennähe hüpfend den Luvhang einer Rippelfigur aufwärts, um sich dann in ihrem Lee niederzuschlagen. Dadurch erweitert er sie Schicht um Schicht in Stromrichtung und läßt sie auf den Luvhang der anschließenden Figur vorwachsen. Von dort wird durch die nachfolgende Grundwalze der obere Teil der Schichtblätter abgetragen und aufwärts über den Rippelkamm verfrachtet. - Über das Riff wird also mehr Sand bewegt, als es der Umfang seiner Verlagerung inselwärts zu erkennen gibt.

2.2.2.2.2.3 Die Versatzbahnen

Alle Umwege, die der Sand auf dem oberen Vorstrand und dem nassen Strand vor seiner endgültigen Anlandung beschreiben kann, weisen mehr oder weniger eine ostwärtige Tendenz auf; der nordöstliche und besonders der südöstliche Sektor spielen als Zielrichtung der - teilweise windbeeinflußten - Transportkräfte, wie gezeigt, die bei weitem wichtigste Rolle. Der Tendenz der Umwege entspricht die des Versatzes; eine ostwärtige Orientierung dominiert. Unterschiede im Versatzumfang und -tempo sind freilich gegeben.

Wie das Schema in Abb. 40 zeigt, steht eine schier unbegrenzte Zahl von

Umwegen offen. Auf welcher Bahn ein Korn wie lange transportiert wird, hängt - von einem direkten Abtransport durch Wind einmal ganz abgesehen - vor allem von der Intensität der jeweils beteiligten Strömungen und seinem Eigengewicht ab. - Einige Möglichkeiten:

a. Umweg: Riff - Riff - Riff = die kleine Versatzbahn (im Schema links Mitte)

Ein wesentlicher Teil des anlandenden Materials wird im Bereich von Riffluv und -kamm ungefähr strandparallel nach O bewegt, - möglicherweise mit leicht auflandiger Tendenz. Die Bewegung vollzieht sich in einzelnen unterschiedlich großen und weiten Vor- und Rückschritten (Schwall- und Rückstrom). Die Schritte ergeben insgesamt die bekannte sägeblattförmige Bahn.

b. Umweg: Vorstrand - Riff - Vorstrand - Riff = die mittlere Versatzbahn (im Schema links oben)

Die Versatzbahn a. erweitert sich seewärts, wenn der obere Vorstrand in den Bewegungsraum einbezogen wird: Die ablandigen Transportkräfte verursachen große Schritte; sie tragen das Material zeitweilig über die Uferlinie zurück. - Ein Korn verläßt den Rahmen der kleinen bzw. mittleren Versatzbahn, sobald es inselwärts über den Riffkamm hinausgerät. Es wandert nun entweder direkt zum trockenen Strand oder tritt im Priel in einen weiträumigen Versatz ein:

c. Umweg: Vorstrand - Riff - Priel - Vorstrand - Riff = die große Versatzbahn (im Schema rechts)

Der Rippstrom übernimmt hier gleichsam zum einen die Funktion des Rückstromes, denn er transportiert das Material seewärts. Zum anderen tritt er an die Stelle auch des Schwallstromes: Er bringt die ostwärtige Komponente ins Spiel. Da er aber nicht wie der erste direkt seewärts, sondern - wegen des durchweg fast strandparallelen Prielverlaufs - nur leicht O-ablandig wirken kann, erzeugt er einen erheblich weiteren und somit für den östlichen Inselteil bedeutsameren Versatzweg.

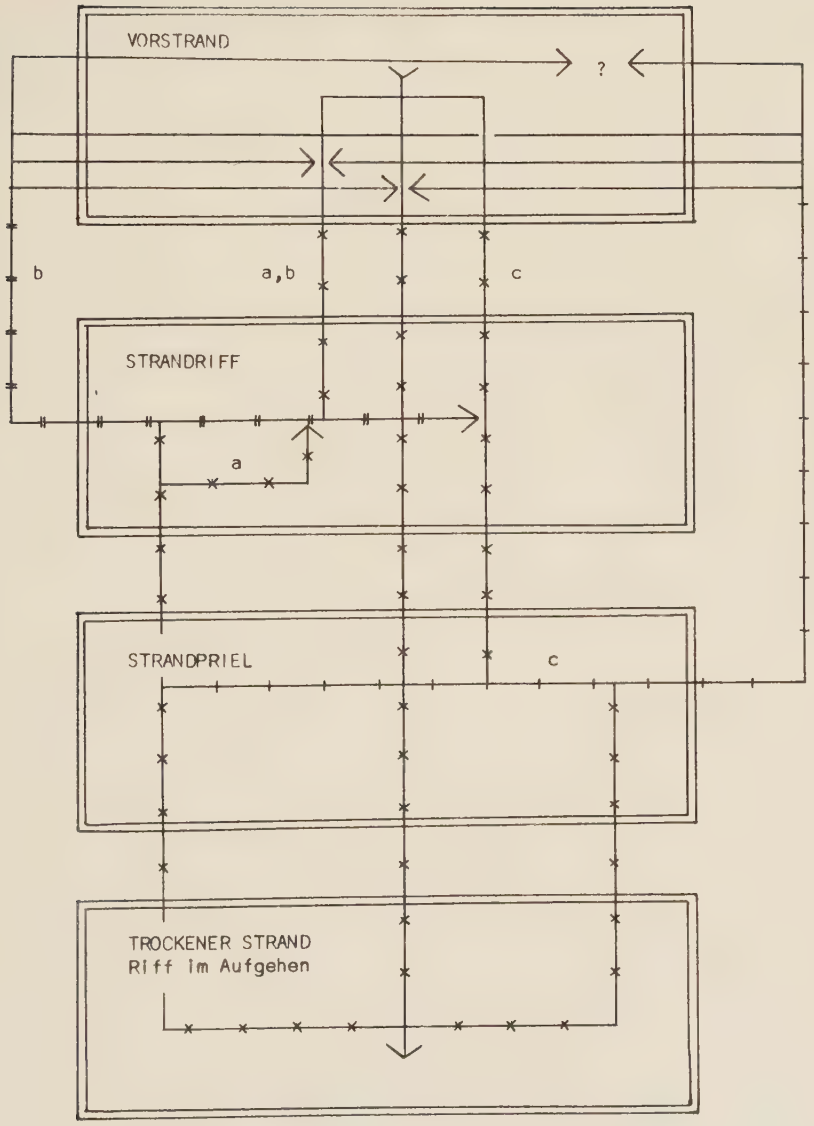


Abb. 40: Schema möglicher Sand-Versatzbahnen

2.3 Der Wind als morphologisch wirksamer Faktor

Sand (= feiner Mittelsand mit einem Durchmesser von 0,25 mm) wird vom Wind bei einem Schwellenwert von etwa 4 m/sek bewegt (BAGNOLD, 1954). Diese Bewegung kann jedoch noch nicht als Materialtransport angesprochen werden, denn es handelt sich dabei nur um eine leichte Lageveränderung der Körner am Standort. Der eigentliche Transport vom Standort fort beginnt erst bei einer Windgeschwindigkeit von mindestens 5,5 m/sek (4 Bft).

Unter Einwirkung mittlerer Winde werden die einzelnen Kornarten bzw. Korngrößen sowohl des Strand- als auch des Dünensandes Spiekeroogs folgermaßen transportiert (Abb. 41 - 43):

Raptation:	Quarze	größer 0,5 mm
	Granate	größer 0,3 mm
	Erze	größer 0,25 mm
Saltation:	Quarze	0,5 - 0,1 mm
	Schwerminer.	0,1 - 0,06 mm
Suspension:	Quarze	0,06 mm und kleiner

Die Saltation ist die bei weitem häufigste Fortbewegungsart auf Spiekeroog (Anteil: knapp vier Fünftel). Sein Sand besteht nämlich zum größten Teil aus Quarzkörnern mit einem Durchmesser von 0,2 - 0,1 mm. Dieser Fraktion dürfen die Schwermineralien, die vor allem die im Dünensand enthaltene Fraktion 0,1 - 0,06 mm ausmachen, als etwa gleichbedeutend zugerechnet werden. Der Anteil der Raptation beträgt nur ein Fünftel. Das eigentliche Schweben findet noch wesentlich seltener statt, weil die Körner für den bodenfernen Transport über weite Strekken hin durchweg zu groß und zu schwer sind bzw. die für diese Art der Fortbewegung tatsächlich geeigneten Körner immer sehr rasch ausgeblasen werden.

2.3.1 Die Windverteilung aufgrund des reinen Meßdatenmaterials

2.3.1.1 Die zeitliche Verteilung (Abb. 44)

Nur knapp die Hälfte der 21.915 Windkontakte, die während des zwanzigjährigen Beobachtungszeitraumes auf Spiekeroog registriert wurden, kommt für Transport und Dünenbildung in Frage:

10.088mal (= 46,03 %) liegen Winde der morphologisch bedeutsamen Stärken größer 3 Bft vor. Winde der Stärken 1, 2, und 3 Bft, die ja keinen Einfluß auf den Materialtransport haben, treten dagegen 11.073mal (= 50,53 %) auf. Zu diesen sind die Windstillen hinzuzuzählen: Im Laufe der Beobachtung zeigte der Windmesser 754mal (= 3,44 %) keine Windtätigkeit an, so daß also die Gesamtzahl der hier übergehbaren Kontakte 11.827 (= 53,97 %) beträgt.

Abb. 41

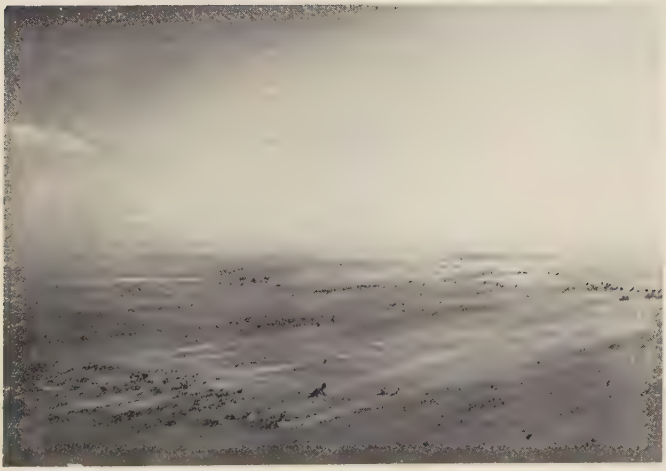


Abb. 42

Abb. 41: Sandtransport vor allem in Form von Raptation und Saltation (mittlere Windstärke; trockener Nordstrand am Übergang zwischen Spiekeroog und der Ostplate (Blick OSO)

Abb. 42: Sandtransport mit hohem Anteil an Suspension (mittlere bis hohe Windstärke; unterer trockener Nordstrand der östlichen Plate, Blick NO)

Abb. 43

Abb. 43: Bodennaher Materialtransport auf jungen Dünen der westlichen Ostplate (mittlere Windstärke; Blick W, windaufwärts)

	Kontakte ges.	A		B						A : B	
				materialverfrachtende Stärken (Bft)							
		0 - 3	in %	4	5	6	gr.6	gr. 3	in %	0 - 3 in %	gr. 3 in %
Jan	1860	870	7,35	364	314	208	104	990	9,28	46,77	53,23
Feb	1695	807	6,82	361	296	162	96	888	8,80	47,61	52,39
Mär	1860	997	8,43	340	271	158	94	863	8,55	53,60	46,40
Apr	1800	1049	8,87	342	208	158	43	751	7,44	58,28	41,72
Mai	1860	1045	8,84	419	210	144	42	815	8,08	56,18	43,82
Jun	1800	949	8,02	425	247	135	44	851	8,44	52,72	47,28
Jul	1860	1006	8,51	399	255	107	93	854	8,47	54,09	45,91
Aug	1860	1110	9,39	324	221	138	67	750	7,43	59,68	40,32
Sep	1800	1013	8,57	344	217	140	96	787	7,80	56,28	43,72
Okt	1860	1102	9,32	312	242	126	78	758	7,51	59,25	40,75
Nov	1800	934	7,89	392	248	148	78	866	8,58	51,89	48,11
Dez	1860	945	7,99	344	261	206	104	915	9,08	50,81	49,19
	21915	11827	100 %	4356	2963	1830	939	10088	100 %	53,97	46,03
				43,18	29,37	18,14	9,31 %				

Tab. 11: Die zeitliche Windverteilung in Form der reinen Kontaktzahlen des Spiekerooger Windmessers (1948-1968)

Abb. 44: Die zeitliche Windverteilung

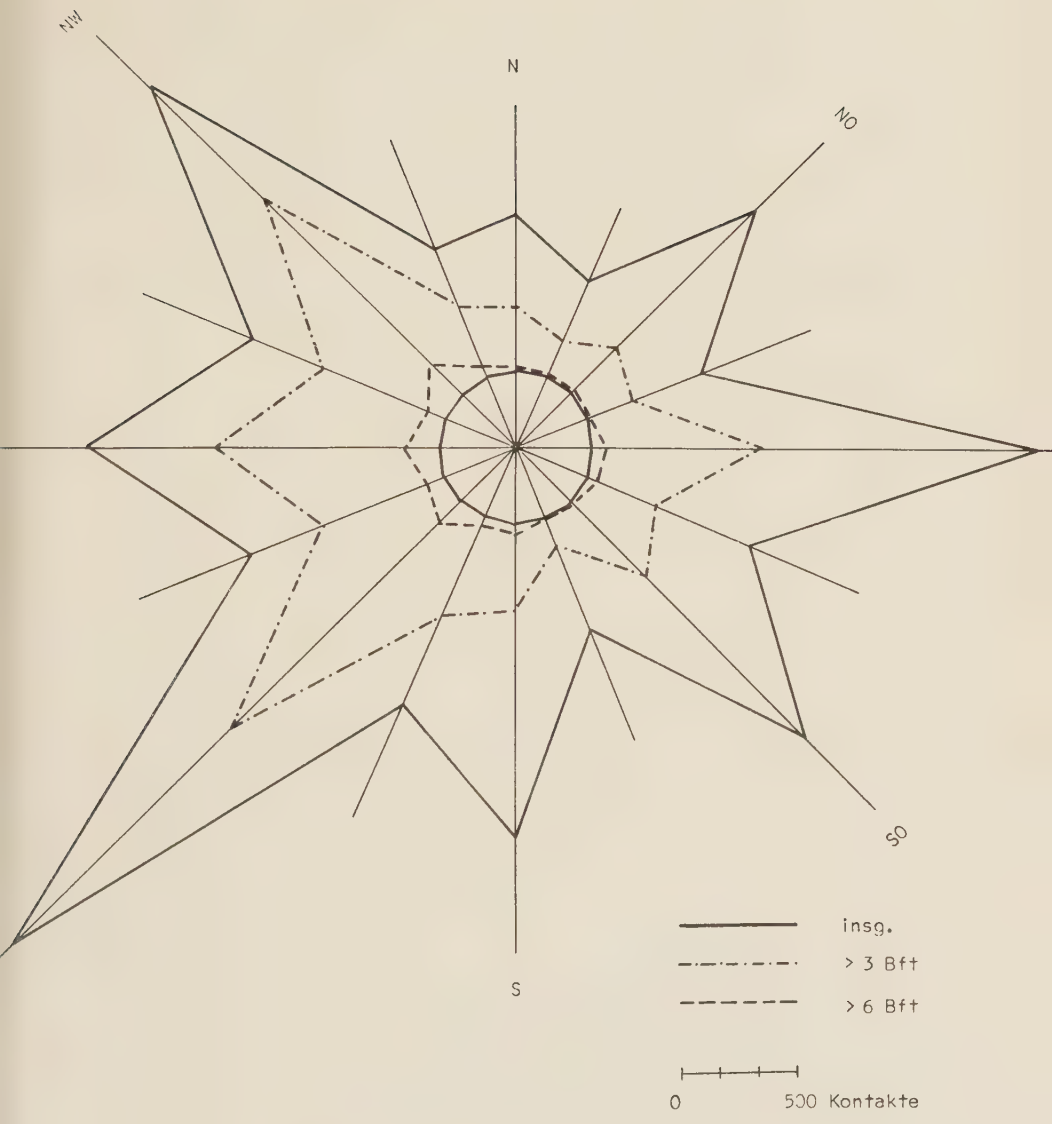


Abb. 45: Die Herkunft der Winde

In der Gruppe der materialverfrachtenden Winde erreicht keine Stärke einen Anteil über 20 % der Gesamtzahl bzw. 50 % der Winde mit Stärken über 3 Bft. Am häufigsten sind die mäßigen Winde mit einem Anteil von 19,88 % (Winde aller Stärken) bzw. 43,18 % (Winde über 3 Bft). Es folgen die frischen Winde; sie wehen in 13,52 % aller Fälle (Anteil an den transportfähigen Stärken: 29,37 %). - Die übrigen Stärkestufen sind an der Gesamtzahl mit weniger als einem Zehntel und an den Winden mit Stärken über 3 Bft mit weniger als einem Fünftel beteiligt: 8,35 % bzw. 18.14 %. Am seltensten treten die Winde mit Stärken über 6 Bft auf (= 4,28 bzw. 9,31 %).

Die Winde der Monate November bis März weisen Stärken auf, die über dem Jahresdurchschnitt (vgl. Tab. 10) liegen. Bei den Winden von April bis Oktober ergibt sich ein umgekehrtes Bild:

Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul
3,83	3,81	3,58	3,35	3,44	3,49	3,52

Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
3,36	3,46	3,37	3,58	3,74	3,54

Tab. 10: Die monatlichen und jährlichen Windstärke-Mittel (in Bft)

Abb. 44 gibt an, welchen Anteil die einzelnen Monate an den verschiedenen Stärken haben. - Der Anteil der transportfähigen Stärken macht im Mittel 46,03 % aus, d. h. nur knapp die Hälfte der jeweils auftretenden Winde kann Material verfrachten. Der größte Anteil wird - wie bereits das höhe Stärke-Mittel dieses Monats vermuten läßt - vom Januar gehalten; er beträgt 53,23 %. Am ungünstigsten schneidet mit 40,32 % der August ab.

2.3.1.2 Die Windrichtungen (Abb. 45)

Vorherrschend ist der SW; 14,93 % aller registrierten Winde (= 3.271) kamen aus dieser Richtung. Der O vereinigt mit 3.329 Kontakten (= 10,63 %) ebenfalls mehr als ein Zehntel aller Winde der besagten Stärken auf sich. Das gilt auch für den NW; sein Anteil macht 10,63 % aus. Für alle übrigen Richtungen wurden jeweils weniger als 10 % gemessen.

Die genaue Rangfolge ist Tab. 12 zu entnehmen. Sie macht deutlich, daß die Windhäufigkeit in den westlichen Sektoren größer ist als in den östlichen; addiert man die Kontakte der Richtungen S/2 bis N/2 einerseits und N/2 bis S/2 andererseits, so ergibt sich eine Kontaktzahl von 12.534 (= 57,2 %) bzw. 9.381 (= 42,8 %).

Betrachtet man nur die transportfähigen Winde (vgl. mittleren Ring in

	Kontakte		A		B						A : B	
			nicht transportfähige Stärken		materialverfrachtende Stärken (Bft)							
	ges.	in %	0 - 3	in %	4	5	6	gr. 6	gr. 3	in %	0 - 3 in %	gr. 3 in %
N	819	3,74	483	4,08	171	87	55	23	336	3,33	58,97	41,03
NNO	552	2,52	356	3,01	120	50	20	6	196	1,94	64,49	35,51
NO	1350	6,16	1022	8,64	185	95	42	6	328	3,25	75,70	24,30
ONO	646	2,95	386	3,26	132	92	29	7	260	2,58	59,75	40,25
O	2329	10,63	1448	12,24	440	269	141	31	881	8,73	62,17	37,83
OSO	918	4,19	528	4,46	179	111	81	19	390	3,87	57,52	42,48
SO	1733	7,91	1207	10,12	310	146	64	6	526	5,21	69,65	30,35
SSO	628	2,87	469	3,97	116	35	8	-	159	1,58	74,68	25,32
S	1631	7,44	1180	9,98	250	133	48	20	451	4,47	72,35	27,65
WSW	1073	4,89	509	4,30	221	162	126	55	564	5,59	47,44	52,56
SW	3271	14,93	1606	13,58	715	511	296	143	1665	16,50	49,10	50,90
WSW	1081	4,93	415	3,51	235	203	145	83	666	6,60	38,39	61,61
W	1814	8,27	663	5,61	393	336	249	173	1151	11,41	36,55	63,45
WNW	1079	4,92	393	3,32	248	201	142	95	686	6,80	36,42	63,58
NW	2284	10,42	854	7,22	497	403	303	227	1430	14,28	37,39	62,61
NNW	707	3,23	308	2,61	144	129	81	45	399	3,96	43,56	56,44
	21915	100 %	11827	100 %	4356	2963	1830	939	10088	100 %	53,97	46,03
					43,18	29,37	18,14	9,31 %				

Tab. 12: Die räumliche Windverteilung in Form der reinen Kontaktzahlen des Spiekerooger Windmessers (1948 - 1968)

Abb. 45), so fällt auf, daß diese Winde in den westlichen Richtungen ausnahmslos häufiger als in den östlichen auftreten. Der SW hält mit einem Anteil von 16,50 % das Maximum. Es folgen der NW und W mit 14,28 % und 11,41 %. Alle übrigen Richtungen verfügen nur über Anteile von teilweise weniger als 10 %. Zu ihnen gehört mit 8,73 % der O; er hat wegen der hohen Zahl an Winden nicht transportfähiger Stärken also nicht mehr - wie im Falle der Gesamtwindzahl - den zweiten Platz inne.

Auf die westlichen Richtungen entfallen insgesamt 64,9 % der Winde mit Stärken über 3 Bft. Von allen Winden einer jeden dieser Richtungen sind im Mittel mehr als die Hälfte (53,31 %) der besagten Gruppe zuzuordnen. Die östlichen Richtungen (transportfähige Winde jeweils durchschnittlich 33,86 %) vereinigen nur 27,3 % auf sich. Den westlichen Richtungen kommt also im ganzen eine bei weitem höhere Bedeutung hinsichtlich der Materialverfrachtung zu.

Das unterstreicht die Verteilung der besonders schubstarken Winde der Stärken über 6 Bft (vgl. inneren Ring in Abb. 45), denn auch diese Winde treten am häufigsten (89,8 %) in den Richtungen der westlichen Sektoren auf. Dort sind sie an allen transportfähigen Stärken einer jeden Richtung im Mittel mit 11,22 % beteiligt; für die östlichen Richtungen ergibt sich ein Anteil von nur 1,28 %. - Fast ein Fünftel aller überdurchschnittlich schubstarken Winde kommt aus dem NW (227 Kontakte = 24,2 %) und nicht - wie im Falle der Winde über 3 Bft - aus SW. Diese Richtung hat hinter dem W (18,4 %) den dritten Platz inne (15,2 %). Alle übrigen sind mit teilweise sehr viel geringeren Anteilen beteiligt. So lassen sich für den NNO, NO und SO während des ganzen Beobachtungszeitraumes nur je 6 Kontakte feststellen.

2.3.2 Die morphologische Bedeutung der Splekerooger Windverhältnisse auf der Grundlage von n . Mv

2.3.2.1 Die Einführung von n . Mv und des Bedeutungsgesamtwertes

Um den Einflußgrad einer bestimmten Anzahl von Winden unterschiedlicher Stärke und Herkunft auf die Größe des Sandtransportes und infolgedessen auf die Dünenbildung bzw. -umlagerung und damit auf den Inselwerdungsprozeß einschließlich seiner Geschwindigkeit genau ermitteln zu können, ist zunächst die Frage zu beantworten: In welchem Maße nimmt die verfrachtete Sandmenge bei anschwellendem Wind zu?

2.3.2.1.1 Das Verhältnis zwischen Windstärke und verfrachteter Sandmenge (Abb. 46)

Wie im einleitenden Kapitel über Ziele und Methoden der Untersuchungen dargelegt wurde, ergibt sich die Beantwortung durch folgendes einfache Verfahren: Man setzt die Sandmengen zueinander ins Verhältnis, die bei unterschiedlich hohen Windgeschwindigkeiten jeweils während der gleichen Zeitspanne in einem genau vermessenen Behältnis gefangen wer-

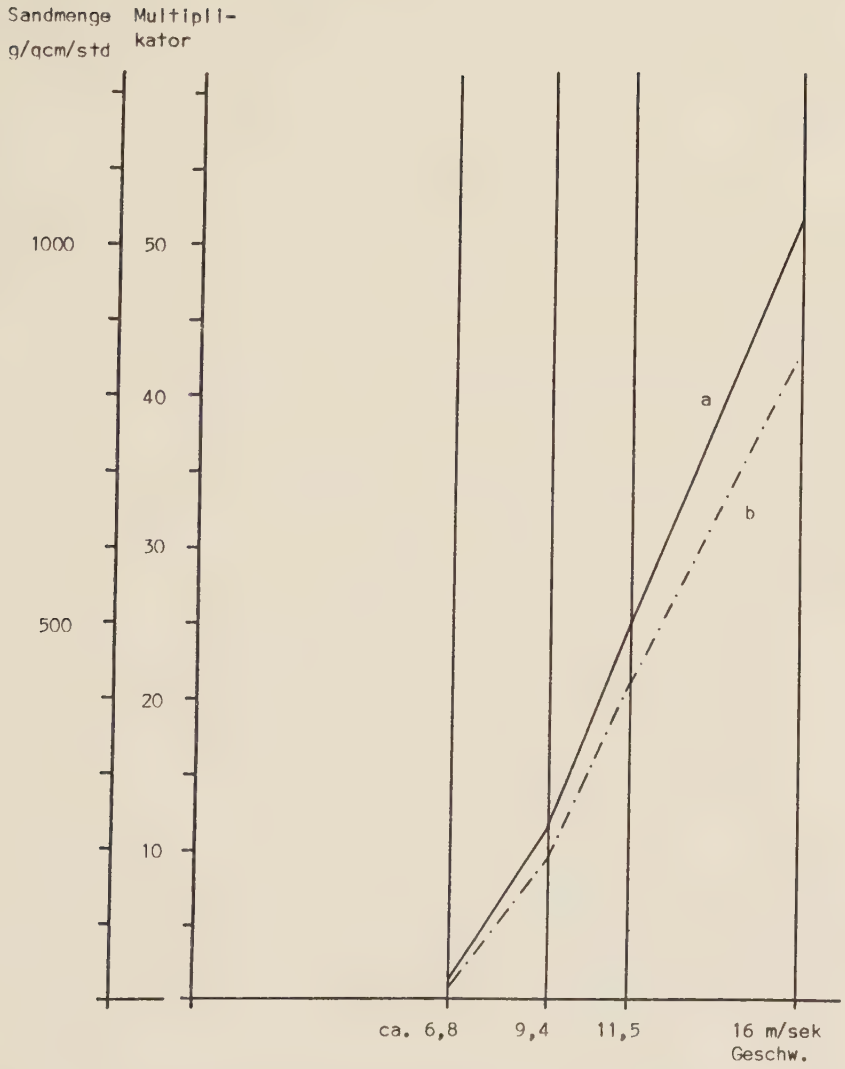


Abb. 46: Das Verhältnis zwischen Windgeschwindigkeit und transportierter Sandmenge

a) Zunahme der verfrachteten Sandmenge bei anschwellendem Wind
b) Veränderungen des Multiplikators (Menge bei 6,8 m/sek = 1)

Windstärke (Bft)	4	5	6	7
(m/sek)	(6,8)	(9,4)	(11,5)	(ca. 16)
Transporthöhe (cm)	0-8	0-20	0-60	0-100
g/qcm/std	24,10	228,95	503,69	1038,71
M (= Multiplikator)	1	9,5	20,9	43,1

Tab. 13: Die unter Einwirkung von Winden unterschiedlicher Stärke verfrachtete Sandmenge (Mittel aus 5 Einzelanalysen)

den. Nur so sind die tatsächlichen Transportleistungen der verschiedenen Winde und damit die Größe ihrer morphologischen Bedeutung genau zu bestimmen.

In Tab. 13 ist die auf eine bestimmte Zeit (1 Stunde) und Anhäufungsfläche (1 qcm) umgerechnete Sandmenge angegeben, die von den Winden bestimmter Stärken in den angegebenen Höhen insgesamt verfrachtet wird.

> Der Materialtransport findet bei mäßigem Wind im großen und ganzen bis in eine Höhe von ca. 8 cm über der Strömungssohle statt. Bei frischem Wind vergrößert sich der Transportraum bis in eine Höhe von etwa 20 cm. Starker Wind läßt die Körner bis zu 60 cm Höhe über dem Boden und steifer sowie stürmischer Wind sogar bis zu 1 m emporsteigen. Das will jedoch nicht besagen, daß die Verfrachtung ungefähr gleichmäßig in der ganzen Höhe erfolgt. Er spielt sich vielmehr jeweils zum allergrößten Teil in den bodennächsten Luftschichten ab. Nur bei hohen Geschwindigkeiten nimmt die Zone des hauptsächlichen Transportes an Mächtigkeit zu.

Aufschlußreicher und in Hinblick auf die Fragestellung wichtiger als die Abhängigkeit der Transporthöhe von der Geschwindigkeit ist das Verhältnis zwischen der verfrachteten Sandmenge insgesamt und der Geschwindigkeit. Es fällt sofort auf, daß sich hier eine andere Relation ergibt als im ersten Fall, denn die transportierte Menge verdoppelt sich, verachtfacht oder verzwölffacht sich mit zunehmender Windstärke nicht nur. Sie weist auch - was unter Einwirkung hoher Geschwindigkeiten besonders deutlich wird - eine viel stärkere Zunahme auf:

Tritt an die Stelle von mäßigem Wind frischer Wind, so nimmt die Sandmenge um das 9,5fache (M = 9,5) zu. Starker Wind verdoppelt sie noch einmal und bedingt ihr Ansteigen auf das mehr als 20fache (M = 20,9). Eine weitere Verdoppelung ergibt sich unter Einwirkung stürmischer Winde; die durch sie verfrachtete Sandmenge ist um das über 40fache (M = 43,1) größer als die bei schwachem Wind.

Die anhand der Messungen im Gelände bestimmten Werte M kennzeichnen also den Zunahmeumfang, den die zur Verfrachtung kommende Materialmenge unter Einwirkung der einzelnen Windstärken erfährt und messen diese Zunahme jeweils an jener Menge, die von den den Transport ja über-

haupt erst eröffnenden Winden der Stärke 4 Bft verfrachtet wird. Ihre Kenntnis ist sehr wichtig. Sie bietet nämlich die Möglichkeit, Aussagen über die Sandmenge bei Winden einer bestimmten Richtung zu machen und damit die morphologische Bedeutung dieser Winde zu beurteilen.

Auf die Bedeutung der Werte M

a. für die Dünenbildung im allgemeinen und
b. für das Erkennen und Beurteilen der Bedeutung, die die verschiedenen Richtungen in den einzelnen Monaten sowie im ganzen Jahr für die einzelnen Teile des Untersuchungsgebietes (= horizontales und vertikales Wachstum und dauerhafte Sicherung) im besonderen haben,

wird unten ausführlich eingegangen.

2.3.2.1.2 Die bisherigen Methoden zur Bestimmung der morphologischen Bedeutung der unterschiedlich starken Winde der einzelnen Richtungen

Die bisherigen Berechnungsmethoden zur Bestimmung des Windeinflusses auf die Inselentwicklung bzw. Dünenbildung $n \cdot 1$, $n \cdot v$ und $n \cdot v^2$ (n = Windhäufigkeit, v = Windstärke), die in der Literatur über windbedingte Materialverfrachtung oder ganz allgemein über küstenmorphologische Fragen (z. B.: GAYE/WALTHER, 1933/36; SCHOU, 1944) entwickelt oder benutzt worden sind, berücksichtigen zwar Windzahl und -stärke. Sie bringen jedoch das Verhältnis zwischen Windgeschwindigkeit und Umfang der verfrachteten Materialmenge nicht richtig zum Ausdruck. Vor allem in Hinblick auf die Bedeutung, die den starken bis stürmischen Winden als Transportmittel und Dünenbildner zukommt, liefern sie die natürlichen Gegebenheiten nur annähernd bzw. gar nicht widerspiegelnde Ergebnisse.

Die Berechnung, durch die die bisherigen Methoden ersetzt werden sollen, geschieht anhand von $n \cdot Mv$. Dabei steht n für die Windhäufigkeit und M für den anhand der beschriebenen Messungen im Gelände gewonnenen Multiplikatoren (für 4 Bft: M = 1; für 5 Bft: M = 9,5; für 6 Bft: M = 20,9; für größer 6 Bft: M = 43,1). Diese Methode gibt genau zu erkennen, wie groß die Bedeutung einer bestimmten Anzahl von Winden einer bestimmten Richtung für die Materialverfrachtung usw. ist. Um vergleichbares Zahlenmaterial zur Verfügung zu haben, muß der Bedeutungsgesamtwert eingeführt werden:

Unterzieht man die Gesamtzahl aller Winde der einzelnen Stärken grösser 3 Bft einer Behandlung nach $n \cdot Mv$, d. h. multipliziert man

die 4.356 Kontakte der Stärke 4 Bft mit 1 (= 4.356,0),
die 2.963 Kontakte der Stärke 5 Bft mit 9,5 (= 28.148,5),
die 1.830 Kontakte der Stärke 6 Bft mit 20,9 (= 38.247,0),
die 939 Kontakte der Stärken größer 6 Bft mit 43,1 (= 40.470,9)

und addiert man dann die Produkte, so ergibt sich eine Summe von 111.222,4. Diese stellt den Wert dar, den alle morphologisch wirksamen Winde aller Richtungen in Hinblick auf den Materialtransport und seine Folgen für die Insel- und Ostplaten-Entwicklung zusammen erreichen. Die Summe wird daher als Bedeutungsgesamtwert bezeichnet (Tab. 15).

Soll z. B. die Bedeutung angegeben werden, die im Januar den 104 Winden der Stärken über 6 Bft und im Oktober den 242 Winden der Stärke 5 Bft für die Dünenbildung usw. zukommt, so sind diese Kontakte mit dem jeweiligen M, also mit 43,1 bzw. 9,5, zu multiplizieren und die sich ergebenden Produkte auf den Bedeutungsgesamtwert (= 100 %) zu beziehen. Das Ergebnis lautet: Der prozentuale Anteil der besagten Oktober-Winde an der gesamten morphologischen Bedeutung aller Winde aller Stärken und Richtungen beträgt 2,07 %. Die Bedeutung der Januar-Winde macht 4,03 % aus, weil sie aufgrund ihres hohen Transportvermögens eine größere Sandmenge verfrachten können.

Nimmt man die durchschnittliche Windzahl der angegebenen Stärken und Monate (also 5,2 Winde der Stärken über 6 Bft in jedem Januar und 12,1 Winde der Stärke 5 Bft in jedem Oktober), und legt man den durchschnittlichen Bedeutungsgesamtwert (111.222,4 : 20 = 5.561,12 = 100 %) zugrunde, so ergeben sich für die besagten Winde der beiden Monate natürlich die gleichen prozentualen Bedeutungsanteile wie oben.

2.3.2.1.3 Die Überlegenheit von n . Mv gegenüber diesen Methoden

Tab. 14 enthält den aufgrund der verschiedenen Methoden bestimmten Zunahmeumfang des Materialtransportes bei anschwellender Windstärke. Sie zeigt auch die Multiplikatoren dieser Methoden. Die bei 4 Bft als Mindeststärke verfrachtete Sandmenge ist jedesmal mit 1 angegeben; die Sandmenge, die unter Einwirkung höherer Geschwindigkeiten zur Umlagerung kommt, steht dazu im Verhältnis. - Der Vergleich der Ergebnisse läßt das Mißverhältnis erkennen, das zwischen den bisherigen Berechnungsmethoden und n . Mv, also zwischen den Vermutungen und den tatsächlichen Gegebenheiten der Sandverfrachtung zumindest im Bereich von Strandflächen und jungen Dünengeländen, besteht:

Nach n . 1 ergeben sich keine Unterschiede zwischen den einzelnen Windstärken, denn die von mäßigen Winden verfrachtete Sandmenge ist ebenso groß wie die von starken und stürmischen Winden transportierte. Diese Berechnungsart darf daher sofort als unzutreffend ausgeschieden werden.

Dieser Umstand macht deutlich, daß es keinesfalls zulässig ist, von der reinen Anzahl der Winde mit Stärken über 3 Bft auf den Grad des Einflusses zu schließen, der von einer Richtung auf die Sandverfrachtung und die Dünengestaltung ausgeht. Danach wäre nämlich - wie vielfach angenommen (z. B. HEYKENA, 1965) - der SW im Gebiet der ostfriesischen Inseln tatsächlich die einflußreichste Windrichtung und nicht der NW!

Eine detailliertere Aussage vermittelt erst n . v. Allerdings kommt aber auch bei ihrer Anwendung die tatsächlich bestehende große morphologische Bedeutung der hohen Windstärken noch längst nicht zum Ausdruck. Wie Tab. 15 zeigt, weicht nämlich ihr Multi-

Windstärke (in Bft)	4	5	6	gr. 6
n . 1	n . 1	n . 1	n . 1	n . 1
	1	1	1	1 fach
n . v	n . 4	n . 5	n . 6	n . 8
	1	1,25	1,5	2 fach
n . v^2	n . 16	n . 25	n . 36	n . 64
	1	1,56	2,25	4 fach
n . Mv	n . 1	n . 9,5	n . 20,9	n . 43,1
	1	9,5	20,9	43,1 fach

Tab. 14: Die nach den verschiedenen Berechnungsmethoden bestimmte Vergrößerung, die die verfrachtete Sandmenge erfährt, wenn der Wind an Stärke gewinnt.

plikator mit zunehmender Stärke immer negativer von dem auf der Grundlage der Geländemessungen ab. So ist bei Stärke 6 Bft dieser 14mal und bei den stürmischen Winden sogar 21mal größer.

Legt man n . v^2 zugrunde, so zeigt sich schon ein besseres, aber immer noch kein Ergebnis, das die tatsächliche Leistung ausdrückt. Obwohl nämlich ihr Multiplikator bei Stärke 5 Bft um 25 % größer ist als der von n . v, besteht zwischen ihm und dem von n . Mv ein Verhältnis von 1 : 6. Bei Stärke 6 Bft verbessert sich n . v^2 zwar weiter gegenüber n . v, die Differenz zu n . Mv wird mit 1 : 9 aber noch ungünstiger. Am auffälligsten ist die Abweichung bei stürmischen Winden.

Zusammengefaßt macht der Multiplikator-Vergleich deutlich: Die morphologische Bedeutung eines Windes ist bisher umso mehr unterschätzt worden, je höher seine Stärke war. Erst nachdem M ermittelt und eingeführt worden ist, kann dieser Mangel beseitigt werden: Es besteht nun die Möglichkeit zur weitgehend zutreffenden Beurteilung der Geschwindigkeit von Dünenbildung und -vergrößerung bzw. von windbedingter Dünenumlagerung oder -zerstörung in den unterschiedlich exponierten Inselteilen.

Stärke (Bft)		4	5	6	gr. 6	zus.
Winde (ges.)		4.356	2.963	1.830	939	10.088
n . 1	a	1	1	1	1	
	b	4.356	2.963	1.830	939	10.088
	c	43,2	29,4	18,1	9,3	100 %
n . v	a	1	1,25	1,50	2	
	b	4.356	3.703,8	2.745,0	1.878,0	12.682,8
	c	34,3	29,2	21,7	14,8	100 %
n . v^2	a	1	1,56	2,25	4	
	b	4.356	4.622,3	4.117,5	3.756,0	16.851,8
	c	25,9	27,3	24,4	22,4	100 %
n . Mv	a	1	9,5	20,9	43,1	
	b	4.356	28.148,5	38.247,0	40.470,9	111.222,4 +)
	c	3,9	25,3	34,4	36,4	100 %

Tab. 15: n . Mv und die bisherigen Berechnungsmethoden zur Bestimmung der morphologischen Bedeutung der Winde der verschiedenen Stärken (a = Multiplikator bzw. vergleichbarer Wert, siehe Tab. 14; b = Multiplikator . Windzahl; c = Produkt daraus in %)

+) Bedeutungsgesamtwert

Die Unterschiede in Hinblick auf die Gesamtbedeutung aller Winde der Stärken über 3 Bft

Ein genauer Vergleich der nach n . Mv berechneten prozentualen Bedeutungsanteile der Winde der einzelnen transportfähigen Stärken mit den entsprechenden Anteilen, die sich bei Verwendung der bisherigen Methoden ergeben, setzt die Bestimmung der dem Bedeutungsgesamtwert entsprechenden Werte voraus: Sie betragen für n . v und n . v^2 12.682,8 bzw. 16.851,8 und sind - um einen schnellen Vergleich zu ermöglichen - zusammen mit dem Wert nach n . 1 und n . Mv sowie den auf sie bezogenen prozentualen Bedeutungsanteilen der Winde der einzelnen Stärken in Tab. 15 angegeben. Der Bedeutungsgesamtwert übertrifft den Wert nach n . v^2 um das 6,6fache und den nach n . v um das 8,8fache. Zwischen n . 1 und n . Mv besteht sogar ein Verhältnis von 1 : 11.

Der Vergleich der Bedeutungsanteile der verschiedenen Stärken läßt erkennen: n . 1, n . v und selbst n . v^2 bringen die Bedeutung der Winde hoher und höchster Stärken für die Dünenbildung äußerst unvollkommen zum Ausdruck. Dagegen bewerten sie den Einfluß von Winden mittlerer Stärken über.

Im einzelnen verhalten sich die Anteile der Winde der verschiedenen Stärken zum jeweiligen Bedeutungsgesamtwert und zueinander folgendermaßen:

Obwohl die Winde stärker 6 Bft nur 9,3 % aller Winde ausmachen, die als Transportmittel in Frage kommen, also zahlenmäßig die kleinste Gruppe darstellen, haben sie am Bedeutungsgesamtwert einen Anteil, der mit 36,4 % um das 4fache größer und den Anteilen der Winde der übrigen Stärken deutlich überlegen ist. Setzt man die entsprechenden Anteile nach n . v und n . v^2 (14,8 bzw. 22,4 %) zu diesem hohen Anteil in Vergleich, so ergibt sich ein Verhältnis von 2,45 : 1 bzw. 1,54 : 1.

Den Winden über 6 Bft folgen bedeutungsmäßig die starken Winde, obwohl diese die genannten nach der Häufigkeit (18,1 %) um fast das Doppelte übertreffen. Da sie als Transportmittel und Faktor der Inselwerdung nicht ganz so effektiv sind, haben sie am Bedeutungsgesamtwert einen Anteil von 34,4 %. Nach n . v und n . v^2 treten sie allerdings als noch wesentlich bedeutungsschwächer in Erscheinung, denn sie erreichen dabei nur einen Anteil von 21,7 bzw. 24,4 %. Sie bleiben also hinsichtlich ihrer morphologischen Bedeutung um knapp bzw. gut ein Drittel hinter der ihnen tatsächlich zukommenden Bedeutung zurück und verhalten sich damit günstiger als die Anteile der Winde mit Stärken über 6 Bft.

Die frischen Winde sind mit einem wesentlich geringeren Anteil (25,31 %) vertreten als die nächststärkeren, und zwar obwohl sie nach der Häufigkeit die zweitwichtigste Gruppe darstellen. Sie werden von den Winden der Stärken 6 und größer 6 Bft um fast das Dreifache übertroffen. Die Bedeutung der frischen Winde ist nach n . Mv um das 1,2fache größer als nach n . 1. Nach n . v erlangt sie eine kaum auffälligere Größe; das gilt auch für die Berechnung nach n . v^2.

Obwohl die Winde der Stärke 4 Bft jene der höheren Stärken nach der Häufigkeit um das fast Doppelte übertreffen, haben sie nur eine vergleichsweise geringe morphologische Bedeutung. Sie weisen mit 3,9 % den kleinsten aller Bedeutungsanteile auf und werden in dieser Hinsicht von den starken Winden und den noch schubstärkeren zusammen um das 18fache übertroffen. Allein der Anteil der letztgenannten Winde ist fast zehnmal größer.

Die Unterschiede in Hinblick auf die Bedeutung der einzelnen Richtungen

Abb. 47 soll einen Überblick über die Veränderungen geben, die die einzelnen Windrichtungen hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Materialtransport usw. erfahren, wenn zur Bestimmung ihres Einflusses anstelle der herkömmlichen Berechnungsmethoden n . Mv Anwendung findet.

Für jede Richtung ist die Summe der prozentualen Anteile ihrer Winde der einzelnen Stärken größer 3 Bft an dem nach den bisherigen Methoden sowie n . Mv (111.222,4 = 100 %) ermittelten Gesamtwert angegeben. Es kann also ein Vergleich zwischen den Berechnungsmethoden in Hinblick auf die Bedeutung erfolgen, die sie den einzelnen Richtungen zumessen.

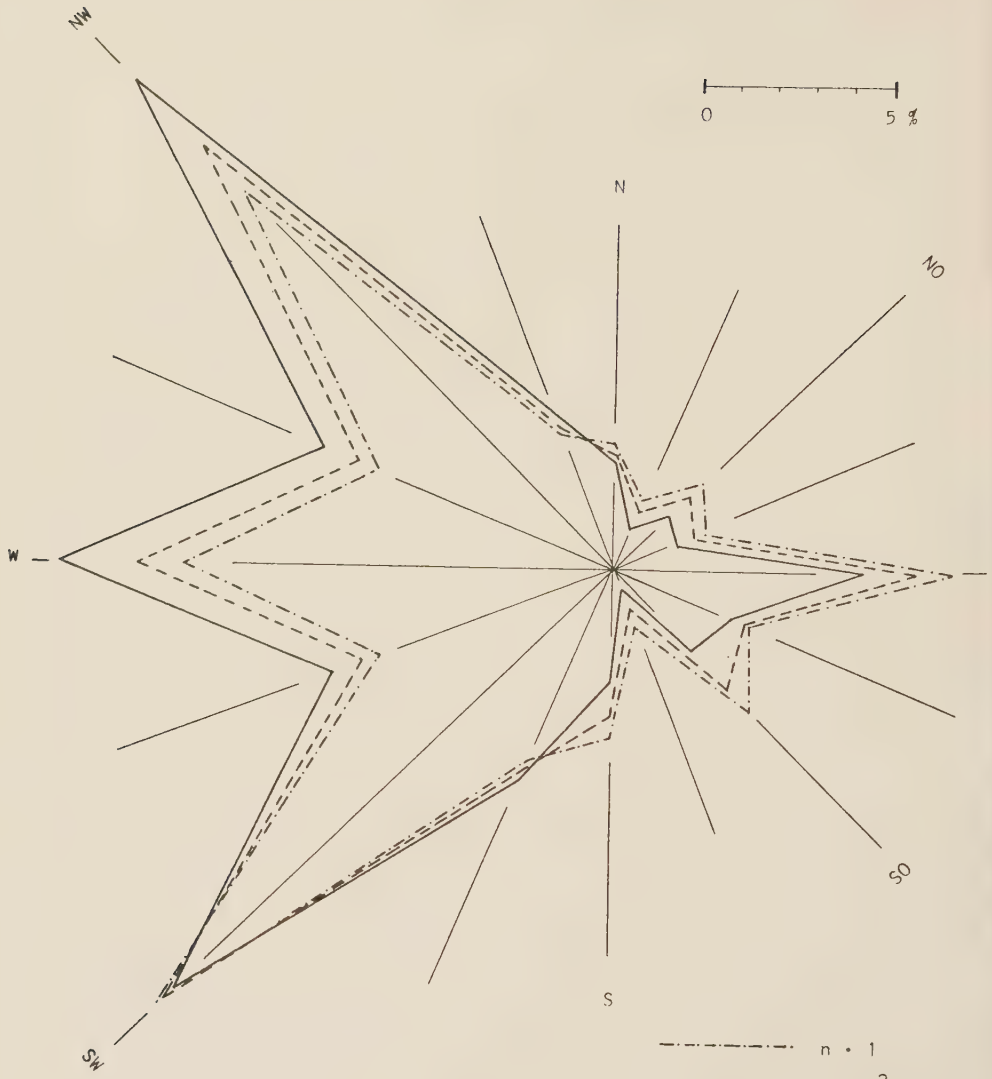


Abb. 47: Die Bedeutungsveränderung der einzelnen Richtungen bei Anwendung von n • Mv anstelle von n • 1 und n • v^2

Abb. 47 läßt erkennen, daß alle östlichen Richtungen von NNO bis SSO sowie die N-, S- und SW-Richtung nach n . Mv zum Teil wesentlich ungünstiger abschneiden, d. h. in Wirklichkeit weniger morphologisch bedeutsam sind, als es die bisherigen Methoden offenbaren. Alle übrigen sechs Richtungen (SSW, WSW bis NNW) gewinnen nach n . Mv an Bedeutung. Die Gründe für die Fehleinschätzung der verschiedenen Richtungen (= Unterbewertung der westlichen und Überbewertung der östlichen Richtungen) sind durch folgenden, oben bereits angedeuteten Umstand bedingt:

Wegen der Unvollkommenheit der bisherigen Methoden kommen

a. die mäßigen und frischen Winde, die aufgrund ihrer hohen Zahl die Verhältnisse der östlichen Richtungen stärker prägen als die der westlichen (durchschnittliche Häufigkeit der Winde der Stärken 4 und 5 Bft in den Richtungen N bis S = 67,03 %), übermäßig zum Tragen.

b. Es finden vor allem die steifen und stürmischen Winde, die in den westlichen Richtungen viel öfter auftreten (durchschnittliche Häufigkeit von N bis S = 3,35 %, von SSW bis NNW = 12,51 %), in der Gesamtbedeutung der einzelnen Richtungen weniger Berücksichtigung, als sie es aufgrund ihres Einflusses auf den Sandtransport verdienen.

Einige auffällig veränderte Richtungen:

Das Maximum der positiven Abweichung gegenüber den früheren Methoden hält der NW. Wie angedeutet, verfügt er zwar nicht über die größte Anzahl an Winden größer 3 Bft. Er steht aber bezüglich der Winde der Stärke 6 Bft und höher an der Spitze aller Richtungen und tritt somit bei Anwendung von n . Mv als morphologisch äußerst wichtige Richtung in Erscheinung.

Darin befindet er sich im Gegensatz vor allem zum SW. Daß diese Richtung überhaupt negativ abschneidet, obwohl sie - was die Häufigkeit an Winden aller Stärken größer 3 Bft betrifft - allen Richtungen klar überlegen ist, wird durch folgenden Umstand bedingt: Der SW nimmt hinsichtlich der morphologisch besonders bedeutsamen Winde der Stärken 6 Bft und höher nur den zweiten bzw. dritten Platz ein. Was die entscheidenden Stärken angeht, steht er also hinter dem NW und W zurück.

Umgekehrt zur Veränderung des NW verhält sich auch der O, aus dem Winde mit Stärken über 3 Bft sogar noch häufiger wehen als aus WNW und WSW. Berücksichtigt man aber nicht nur alle morphologisch wirksamen Winde, sondern allein jene mit Stärken über 6 Bft, so bleibt der O weit hinter den besagten westlichen Richtungen zurück. Das erklärt den ziemlich starken Bedeutungsrückgang seiner Winde bei der Berechnung nach n . MV. Es wird hier noch einmal recht deutlich, daß diese Methode die tatsächlichen Gegebenheiten der Materialverfrachtung am besten widerspiegelt, weil sie die Winde der hohen und sehr hohen Stärken als ein um das Vielfache bedeutenderes Transportmittel berücksichtigt.

2.3.2.2 Die morphologisch wichtigen Ergebnisse anhand von n . Mv und Schlüsse daraus

2.3.2.2.1 Die Bedeutung der einzelnen Richtungen für den Materialtransport (= räumliche Bedeutungsverteilung)

Im folgenden soll dargestellt werden, wie groß die prozentualen Anteile der Windrichtungen und der Einfluß der Winde der einzelnen Richtungen auf den Materialtransport sind und wie sich die einzelnen Stärken auswirken.

Abb. 48 zeigt die Windstärke-Bedeutungsanteile jeder Richtung in Säulenform.

Danach kommt den Winden aus NW die größte Bedeutung als Transportmittel zu, denn sie erreichen den mit Abstand höchsten Anteil am Bedeutungsgesamtwert (18,4 %). Er ist etwa 33mal größer als der der einflußschwächsten SSO-Richtung (0,55 %). Das äußerst günstige Abschneiden verdankt der NW seinen großen, von keiner anderen Richtung erlangten Anteilen an starken Winden und besonders an Winden über 6 Bft.

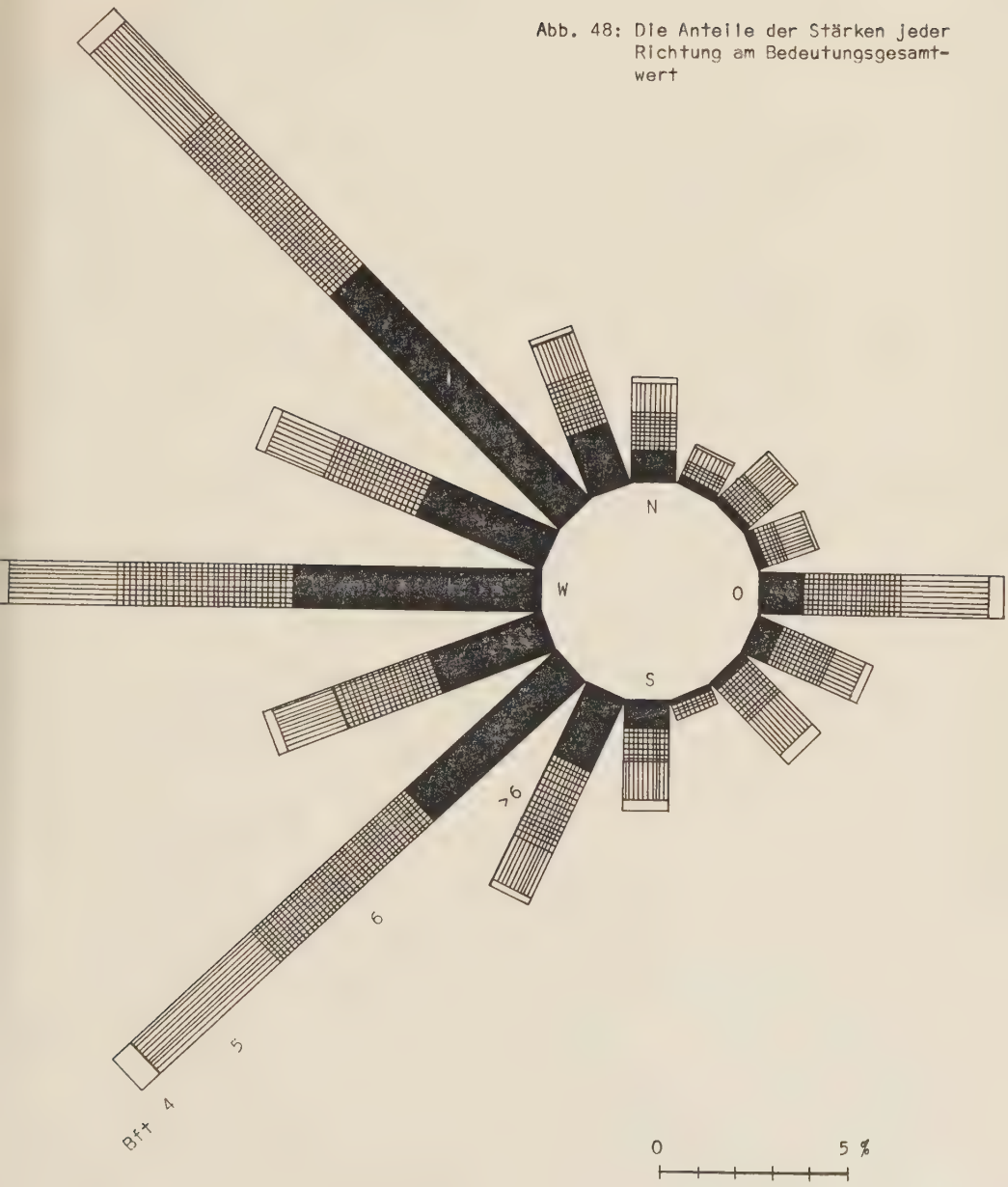
Der Anteil der letztgenannten Winde überwiegt bei weitem: Obwohl sie der Anzahl nach nur 4,9 % aller Winde der Richtung ausmachen, sind sie am Bedeutungsgesamtwert mit 8,8 % beteiligt. Damit treten sie als 20mal so bedeutsam wie die Winde der Stärke 4 in Erscheinung, die nur 0,45 % erreichen. Welche Anteile die anderen transportfähigen Stärken verursachen, geht aus Tab. 16 hervor.

Der SW hat eine Gesamtbedeutung von 16,1 % und ist damit nicht ganz so einflußreich wie der NW. Da sein zahlenmäßiger Anteil an den Winden von 4 und 5 Bft zwar wesentlich größer ist als der des NW, jedoch hinsichtlich der Anzahl der Winde noch höherer Stärken sogar hinter dem W rangiert, erreicht er nicht die Spitzenposition. Insgesamt gesehen sind seine Winde also nur die zweitwichtigsten Transportmittel.

Ob sie auch als zweitwichtigste Dünenbildner angesprochen werden dürfen, muß bezweifelt werden, denn: Sie sorgen einerseits auf dem Nordstrand von Insel und Plate für eine ablandige Materialverfrachtung. Andererseits entziehen sie vor allem den Windrissin den nördlichen und nordwestlichen Randdünen des zentralen Dünengebietes und der jungen Dünenkomplexe der Plate erhebliche Mengen Sand. Im Bereich des SW-Strandes und der Süderdünen sind sie dagegen mindestens ebenso positiv bedeutsam wie die NW-Winde.

Der Bedeutungsanteil der W-Winde beträgt 14,6 % und bedingt, daß sie zur Gruppe der morphologisch überragenden Winde zu zählen sind. - Alle übrigen Richtungen fallen durch wesentlich kleinere Anteile und infolgedessen als weniger bedeutsam für die Sandverfrachtung auf. Die meisten verfügen sogar nur über einen Anteil von weniger als 5 %. Das bedeutet: Der NW spielt eine mindestens dreimal größere Rolle.

Abb. 48: Die Anteile der Stärken jeder Richtung am Bedeutungsgesamtwert



	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	ins.
Jan	0,28	0,20	0,19	0,24	0,49	0,28	0,46	0,13	0,78	1,07	2,35	1,09	1,13	0,71	1,29	0,27	10,95
Feb	0,25	0,04	0,34	0,24	1,07	0,46	0,36	0,09	0,14	0,19	1,37	0,74	1,19	0,81	1,85	0,25	9,39
Mär	0,29	0,26	0,16	0,42	1,80	0,74	0,45	0,04	0,07	0,29	0,93	0,72	0,55	0,40	0,97	0,14	9,23
Apr	0,27	0,12	0,36	0,21	0,56	0,28	0,19	0,01	0,07	0,11	0,49	0,28	1,78	0,54	1,07	0,38	6,72
Mai	0,56	0,16	0,08	0,10	1,01	0,07	0,09	-	0,08	0,04	0,43	0,24	1,04	0,42	2,00	0,18	6,50
Jun	0,36	0,07	0,13	0,05	0,10	0,24	0,04	0,01	0,06	0,24	0,61	0,51	0,66	0,64	2,08	0,93	6,73
Jul	0,26	0,07	0,07	0,10	0,28	0,01	0,01	0,02	0,25	0,24	0,84	0,48	1,51	1,39	2,11	0,51	8,15
Aug	0,07	0,04	0,04	0,03	0,10	0,06	0,25	-	0,10	0,73	1,17	0,48	1,67	0,91	1,45	0,28	7,38
Sep	0,18	0,04	0,03	0,02	0,21	0,20	0,16	0,03	0,18	0,33	1,59	0,55	1,27	1,03	2,20	0,48	8,50
Okt	0,10	0,05	0,15	0,08	0,12	0,06	0,12	0,02	0,25	0,74	2,07	0,85	0,90	0,54	1,27	0,42	7,74
Nov	0,07	0,02	0,22	0,19	0,35	0,47	0,37	0,12	0,41	0,61	1,83	1,03	0,72	0,38	1,03	0,46	8,27
Dez	0,14	0,07	0,22	0,05	0,45	0,48	0,47	0,08	0,66	1,49	2,44	0,92	1,19	0,50	1,06	0,22	10,44
Jahr	2,82	1,14	2,00	1,72	6,63	3,37	2,96	0,55	2,95	6,08	16,11	7,89	14,61	8,29	18,38	4,50	100,00

Tab. 16: Die monatlichen Anteile der Winde der einzelnen Richtungen am Bedeutungsgesamtwert (in %)

In Hinblick auf die Zusammensetzung des Gesamtbedeutungswertes sowohl dieser unwichtigen als auch der bedeutsamen Richtungen ist festzustellen:

Die Gesamtanteile der westlichen Richtungen setzen sich ausschließlich so zusammen, daß auf den Anteil der Winde über 6 Bft die der schwächeren Stärken - von 6 bis 4 Bft - folgen. Dagegen kommt den morphologisch besonders bedeutsamen Winden innerhalb der östlichen Richtungen, die ja durchweg windschwächer sind als die westlichen, nie der größte Anteil zu. Die Anteile werden vielmehr von den starken Winden (O, OSO) und vorallem von den frischen Winden (NNO, NO, ONO, SO, SSO) bestimmt.

2.3.2.2.2 Die Windstärke-Stufen im Jahresgang (= zeitliche Bedeutungsverteilung)

In Abb. 49 sind die auf den Bedeutungsgesamtwert bezogenen Windstärke-Stufen im Jahresgang angegeben. Die Größe des monatlichen Anteils der einzelnen Stärken kann Tab. 17 entnommen werden.

Beim Überblick fällt auf, daß die Wintermonate aufgrund ihrer hohen Zahl an Winden der morphologisch besonders bedeutsamen Stärken über die größte Anteilsstufe verfügen. Sie sind damit besonders gegenüber den windschwachen Frühjahrsmonaten sehr begünstigt. Daß diese trotzdem der Gesamtbedeutung nach nicht noch weiter hinter den Monaten Dezember bis März zurückbleiben, liegt an der hohen Zahl an Winden von 6 Bft.

Hinsichtlich dieser Winde stehen sie zwar hinter den Wintermonaten, sie übertreffen aber die meisten Sommer- und Herbstmonate. Das gilt auch bezüglich der schwachen Winde. Da diese jedoch wegen ihres beschränkten Transportvermögens nur wenig wirksam sind, erfahren die Frühjahrs- und auch die ersten Sommermonate, in denen sie besonders häufig wehen, im ganzen keine Bedeutungsvergrößerung.

Da der Januar nicht nur, wie der Dezember, die größte Anteilsstufe der besonders schubstarken Winde von 5 und 6 Bft erreicht, ist seine Bedeutung am höchsten (Gesamtanteil am Bedeutungsgesamtwert: 10,95 %). Es folgt der nur etwas bedeutungsschwächere Dezember (10,44 %). Daß ihm ein derartig hoher Anteil zukommt, wird durch den gleichen Umstand bedingt wie im Januar.

Dem Dezember schließen sich mit deutlichem Abstand der Februar (9,39 %) und März (9,23 %) an, weil beide überdurchschnittliche Anteilsstufen der Winde der Stärken über 6 Bft haben. Da im September diese schubstarken Winde ebenfalls ziemlich häufig sind, kann sich der Monat (8,50 %) recht günstig plazieren.

Der November erreicht einen Gesamtanteil von 8,27 % und steht damit dem September nur wenig nach. Seine Anteilsstufe der Winde über 6 Bft ist allerdings kleiner. Daß er sich dennoch als überdurchschnittlich bedeutsam behaupten kann, verdankt er dem grösseren Anteil der frischen und starken Winde. Auf den November folgen der Juli (8,15 %) und, auf dem achten Platz der Rangfolge der Monate, der Oktober (7,47 %).

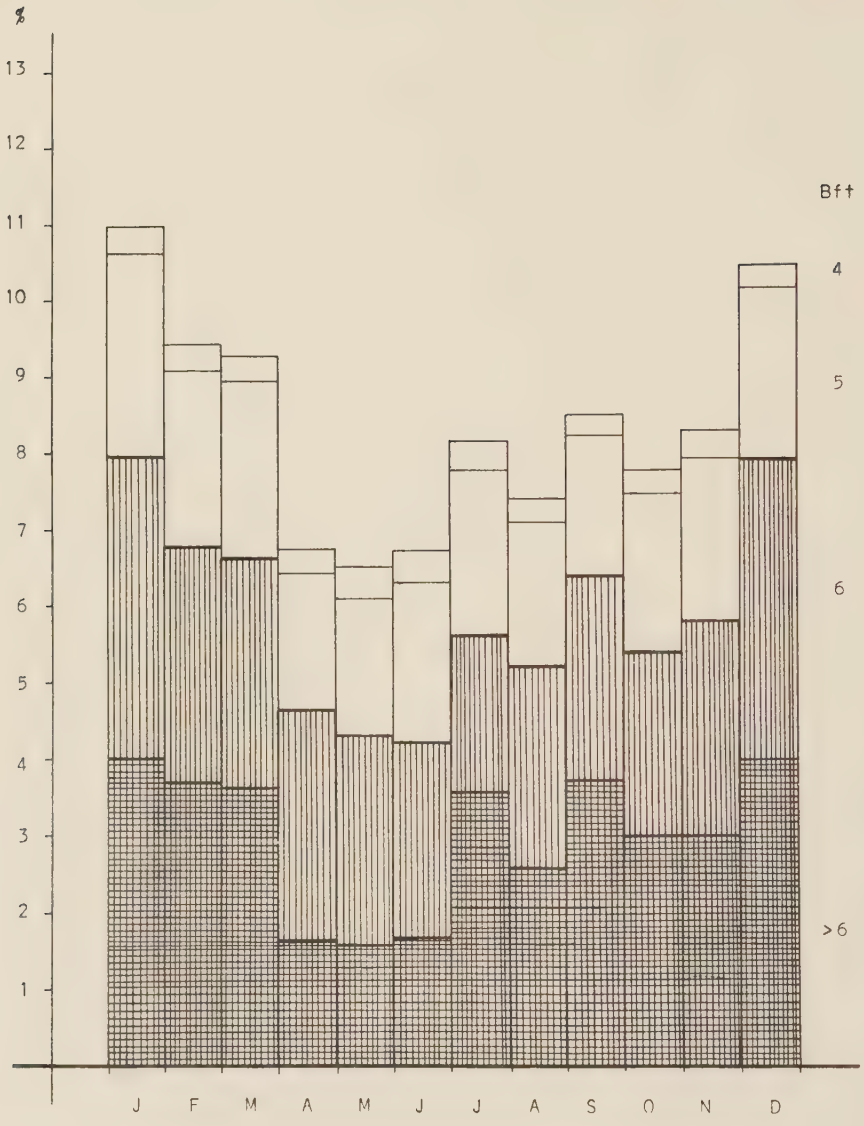


Abb. 49: Der Anteil der monatlichen Windstärken am Bedeutungsgesamtwert (in %)

	4 Bft		5 Bft		6 Bft		größer 6		insgesamt	
Jan	364	3,61 0,33	314	3,11 2,68	208	2,06 3,91	104	1,03 4,03	990	9,81 10,95
Feb	361	3,58 0,32	269	2,67 2,30	162	1,60 3,04	96	0,95 3,73	888	8,80 9,39
Mär	340	3,37 0,31	271	2,69 2,31	158	1,57 2,97	94	0,93 3,64	863	8,56 9,23
Apr	342	3,38 0,31	208	2,06 1,78	158	1,57 2,97	43	0,43 1,66	751	7,44 6,72
Mai	419	4,15 0,37	210	2,08 1,79	144	1,48 2,71	42	0,42 1,63	815	8,08 6,50
Jun	425	4,21 0,38	247	2,45 2,11	135	1,34 2,54	44	0,44 1,70	851	8,44 6,73
Jul	399	3,96 0,36	255	2,35 2,19	107	1,06 2,01	93	0,92 3,59	854	8,47 8,15
Aug	324	3,21 0,29	221	2,19 1,89	138	1,37 2,59	67	0,66 2,61	750	7,43 7,38
Sep	334	3,31 0,30	217	2,15 1,84	140	1,39 2,63	96	0,96 3,73	787	7,80 8,50
Okt	312	3,09 0,28	242	2,40 2,07	126	1,25 2,87	78	0,77 3,02	758	7,51 7,74
Nov	392	3,89 0,35	248	2,46 2,12	148	1,47 2,78	78	0,77 3,02	866	8,59 8,27
Dez	344	3,41 0,31	261	2,59 2,23	206	2,04 3,87	104	1,03 4,03	915	9,07 10,44
	4356	43,2 3,9	2963	29,4 25,3	1830	18,1 34,4	939	9,30 36,4	10088 111222	100 % 100 %

Tab. 17: Der Jahresgang der einzelnen transportfähigen Stärken

Linke Spalte jeweils: Häufigkeit (n); rechte Spalte oben jeweils: Häufigkeit in % (10,088 = 100 %), rechte Spalte unten jeweils: Anteil am Bedeutungsgesamtwert (111.222,4 = 100 %)

Der August (7,37 %) hat - läßt man hier die übrigen klimatischen Gegebenheiten außer acht - von allen Sommermonaten die geringste Bedeutung für den Materialtransport. Im Juni wehen die meisten Winde der Stärke 4 Bft und durchschnittlich viele von 5 Bft; beide können jedoch die Bedeutung des Monats (6,73 %) nur unwesentlich steigern, denn sie haben nur einen deutlich geringeren Einfluß auf die Sandverfrachtung als die im Juni seltenen Winde der hohen Stärken.

An vorletzter Stelle aller Monate steht der April (6,72 %). Er hat zwar eine verhältnismäßig große Zahl starker Winde; sie macht aber nicht die geringere Zahl der Winde größer 6 Bft wett. Mit einem Anteil von 6,50 % rangiert der Mai an der letzten Stelle aller Monate. Obwohl er über die größte monatliche Anteilsstufe der Winde der Stärke 4 Bft verfügt, kommt ihm kein besserer Platz zu, denn die morphologisch besonders wichtigen Winde wehen seltener als sonst und bewirken dadurch einen Anteil, der nicht einmal halb so groß ist wie der des Dezember, Januar, Februar bzw. März.

Entsprechend der räumlichen Bedeutungsverteilung hat die Darstellung gezeigt: Je größer der monatliche Anteil an Winden der Stärken 6 Bft und höher ist, desto stärker tritt der Monat bezüglich seiner Bedeutung für den Materialtransport und dessen Folgen in Erscheinung. Die Zahl der Winde von 5 und 4 Bft spielt eine wesentlich kleinere Rolle; vor allem die letzten üben - auch wenn sie so häufig auftreten, daß sie die Winde mit höheren Stärken zahlenmäßig erheblich übertreffen - einen viel geringeren Einfluß aus als diese.

2.3.2.2.3 Die monatliche und jährliche Bedeutung der einzelnen Sektoren unter Beachtung der jeweiligen Windwirkungsresultanten

(= Zusammenfassung der räumlichen und zeitlichen Bedeutungsverteilung)

Mit der Zusammenfassung nach Sektoren*) soll gezeigt werden, zu welchem Zeitpunkt welche Windrichtungen morphologisch wirksam sind und wie sich zu ihnen die anderen Richtungen verhalten. So wird es beispielsweise darum gehen, ob und wie stark diese die Bedeutung der dominierenden Richtungen vergrößern oder schmälern. Auf den Sektoren-Vergleich aufbauend läßt sich schließen: Wann liegen welche Inselteile im Einflußbereich der Sandzufuhr und erfahren somit ihre erste oder

*) Die beiden östlichen Sektoren (= nordöstlicher und südöstlicher Sektor) werden hier als ein Sektor aufgefaßt. Die Anteile, die sie jeder für sich erreichen, sind - gemessen an denen der westlichen Sektoren - nämlich teilweise nur so klein, daß sie sich nicht als Vergleichwerte eignen. Der nachfolgend angeführte östliche Sektor umfaßt also gut doppelt so viele Richtungen wie jeder der westlichen, nämlich sieben volle und zwei halbe Richtungen (= N/2, NNO bis SSO, S/2).

	O-Sektor (N/2 bis S/2)	SW-Sektor (S/2 bis W/2)	NW-Sektor (W/2 bis N/2)
Jan	2,51	5,46	2,97
Feb	2,80	2,96	3,63
Mär	4,05	2,75	2,43
Apr	1,90	1,81	3,02
Mai	1,83	1,27	3,40
Jun	0,85	1,72	4,16
Jul	0,81	2,44	4,89
Aug	0,61	3,27	3,51
Sep	0,87	3,19	4,44
Okt	0,78	4,23	2,73
Nov	1,97	4,04	2,26
Dez	2,22	5,77	2,45
	21,20	38,91	39,89

Tab. 18 : Die monatlichen Anteile der einzelnen Sektoren am Bedeutungsgesamtwert (in %) - Abb. 50

weitere Aufhöhung durch entstehende oder vertikal bzw. horizontal wachsende Akkumulationsgebilde.

Die Windwirkungsresultanten lassen sich aufgrund der Kenntnis jener Anteile der 16 wichtigen Windrichtungen am Bedeutungsgesamtwert anfertigen, die anhand von n . Mv gewonnen wird, also erst nach Einführung von M sich einstellt. Was schon an anderer Stelle gesagt wurde, trifft damit auch für die Resultanten zu: Ohne die neue Methode, die die tatsächliche Bedeutung der einzelnen transportfähigen Stärken berücksichtigt, ergäbe sich ein falsches Bild. Es kämen nur unvollkommene, wenn nicht sogar irreführende Resultanten zustande. Und das könnte in Hinblick auf die Ausbreitungsrichtung und -geschwindigkeit der Dünen, d. h. auch hinsichtlich der morphologischen Bedeutung der einzelnen Zeitabschnitte, unzutreffende Aus- und Vorhersagen veranlassen.

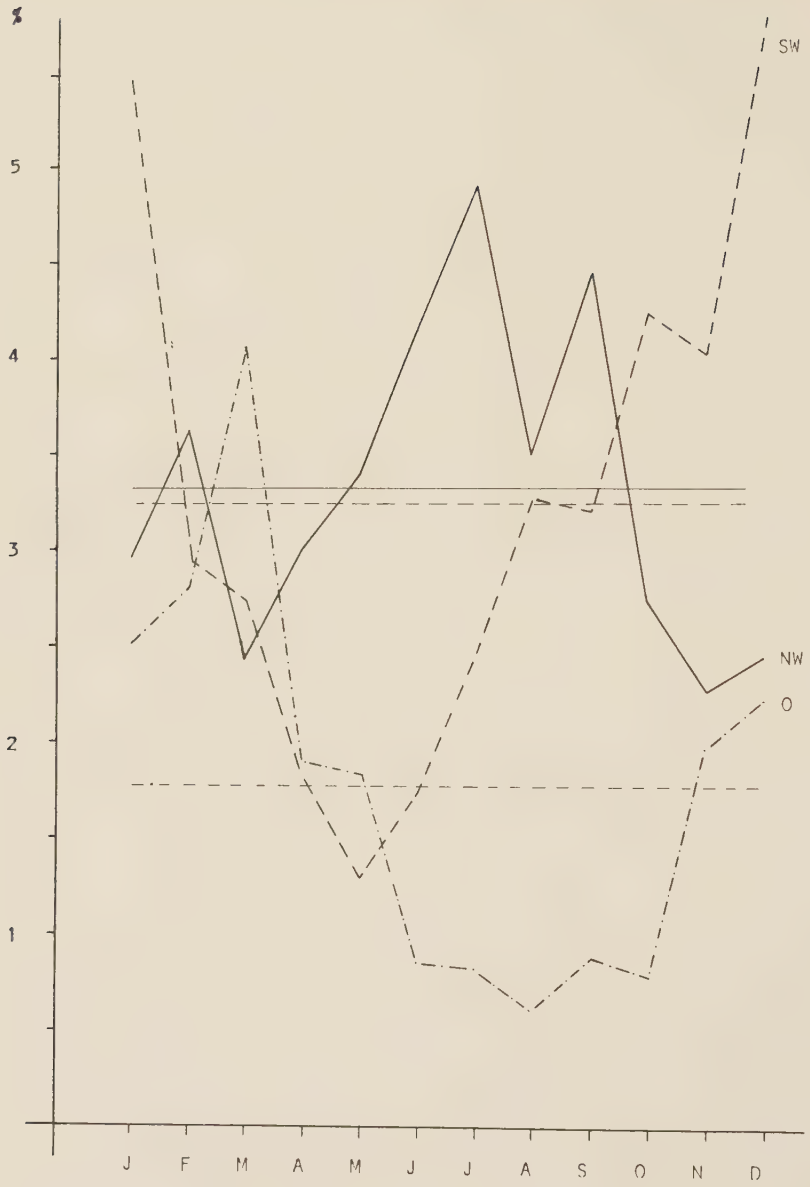


Abb. 50: Die monatlichen Anteile der einzelnen Sektoren am Bedeutungsgesamtwert und das jeweilige Jahresmittel

2.3.2.2.3.1 Die Gewinnung der Windwirkungsresultanten

a. Die zeichnerische Ermittlung:

Sie erfolgt, indem die Anteile der 16 Windrichtungen, die diese in einem bestimmten Monat oder im Jahr am Bedeutungsgesamtwert haben, fortlaufend in Pfeilform aufgetragen werden, und zwar kompaßgemäß von N über O, S und W sowie alle eingeschlossenen Nebenrichtungen bis NNW. Den Anfang macht also jener Pfeil, der auf dem Bedeutungsanteil der nördlichen Winde basiert; es zeigt sich eine Ausrichtung genau nach S.

Die Verbindungslinie, die sich zwischen dem Beginn der Pfeilkette und ihrem Ende ziehen läßt, stellt die Resultante dar. Anhand ihrer Länge und Lage in der Windrose ergibt sich das Bild des Gesamtumfangs der morphologischen Bedeutung aller Winde des jeweiligen Zeitraumes und ihre Einfluß-Gesamtgestalt im Raum. Infolgedessen können u. a. Rückschlüsse auf die Lage jener Inselgebiete gezogen werden, die einer vorwiegend windbedingten positiven oder negativen Gestaltung ausgesetzt sind, sowie Schlüsse zum Umfang dieser Prozesse.

b. Die rechnerische Ermittlung:

Der Resultanteverlauf läßt sich bestimmen, indem die Bedeutungsanteile der 16 Richtungen zunächst auf die vier Hauptrichtungen reduziert werden. Das geschieht mit Hilfe folgender Formel:

$$x = (x1 \cdot \cos 22{,}5) + (x2 \cdot \cos 45{,}0) + (x3 \cdot \cos 67{,}5) + (x4 \cdot \cos 22{,}5) + (x5 \cdot \cos 45{,}0) + (x6 \cdot \cos 67{,}5)$$

x ist die gesuchte Hauptrichtung; x1 bis x3 sind die Richtungen, die sich ihr im Uhrzeigersinn anschließen; bei x4 bis x6 handelt es sich um die gegen den Uhrzeigersinn folgenden Richtungen.

Um den letzten Schritt zur rechnerischen Bestimmung tun zu können, sind nur zwei Komponenten erforderlich. Sie ergeben sich, indem der N-Wert von dem für S und der O-Wert von dem für W subtrahiert werden. Anhand des Ergebnisses wird nach dem Kräfteparallelogramm die genaue Ausrichtung der Resultante berechenbar:

$$\tan \alpha = S/W$$

gibt den Winkel an, den die Resultante mit der W-O-Achse bildet. Ist er positiv und kleiner als 90°, nimmt sie einen Verlauf in Richtung des nordöstlichen Sektors. Ergibt sich ein negativer Winkel unter 90°, richtet sie sich zum südöstlichen Sektor aus. Bei einem positiven α größer als 90° liegt ein Verlauf in Richtung des nordwestlichen Sektors vor; ein negatives α größer 90° weist eine Ausrichtung zum südwestlichen Sektor auf.

Tab. 19 enthält nicht nur den Winkel für die einzelnen Monate und das Jahr; sie gibt auch die Verlaufsrichtung (VR) in der Windrose an. VR läßt sich bestimmen, indem α nach der für diese Figur üblichen Gradeinteilung (N = 0°, O = 90° usw.) ausgerichtet wird:

$$VR = 90° - \alpha$$

Die Länge der Resultante (LR) wird unter Verwendung des Sinussatzes errechnet:

$$LR = S / \sin\alpha$$

Eine Resultante verfügt über eine umso größere Länge, je höher der Einwirkungsgrad und damit die morphologische Bedeutung der Winde ist, die als vorherrschend in Erscheinung treten. Bei einer kurzen Resultante darf angenommen werden, daß die Windverhältnisse im gegenüberliegenden Sektor hinsichtlich der morphologischen Bedeutung fast gleich günstig bzw. ungünstig sind. Die Längen geben also grundsätzlich Auskunft über das Verhältnis der Sektoren und ihrer Bedeutung zueinander sowie über ihr gemeinsames oder konträres Wirken auf den Prozeß der Materialverfrachtung und die Folgen. Sie unterstreicht und verdeutlicht damit jene Erkenntnisse, die beim Vergleich der monatlichen Anteile der einzelnen Sektoren zu gewinnen sind.

Als besonders aufschlußreich erweisen sich die Längenvergleiche von Resultanten verschiedener Monate sowie die Kenntnis des Verhältnisses, das zwischen ihrem LR und der Länge der Jahresresultierenden besteht.

2.3.2.2.3.2 Das Ergebnis des Sektorenvergleichs und der Resultantenbestimmung

Von den zwölf Monatsresultanten verlaufen vier in südöstliche, vier in nordöstliche und vier in östliche Richtungen. Es liegt keine Resultante vor, die auf einen der westlichen Sektoren ausgerichtet ist, denn: Wie gezeigt, treten ja in keinem Monat östliche Winde vor allem der morphologisch besonders wichtigen Stärken auf, während gleichzeitig im nordwestlichen oder südwestlichen Sektor diese Winde fehlen oder zumindest eine sehr untergeordnete Rolle spielen.

Die unterschiedlich ausgerichteten Resultanten wechseln einander nicht willkürlich ab. Sie folgen vielmehr nach der Ausrichtung geordnet aufeinander:

a. Es liegt eine Periode vor, die aus den besagten vier Resultanten mit südöstlichem Verlauf besteht.
b. Eine Periode umfaßt die vier Resultanten mit nordöstlicher Ausrichtung.
c. Beide werden jeweils durch eine Periode mit ungefähr ostwärts verlaufenden Resultanten verbunden (c.1 und c.2).

Bei der Periode a. handelt es sich um die Monate Oktober bis Januar (Abb. 51):

Oktober:

Er steht im Zeichen der Verlagerung des Monatsmaximums vom NW- auf den SW-Sektor. Der SW-Anteil am Bedeutungsgesamtwert beträgt 4,23 % (vorherrschende Richtung: S = 2,07 %). Der NW-Sektor vereinigt nur noch 2,73 % auf sich und kommt daher fast seinem Jahresminimum im März nahe. Die Sandverfrachtung unter Einwirkung seiner Winde, die seit April do-

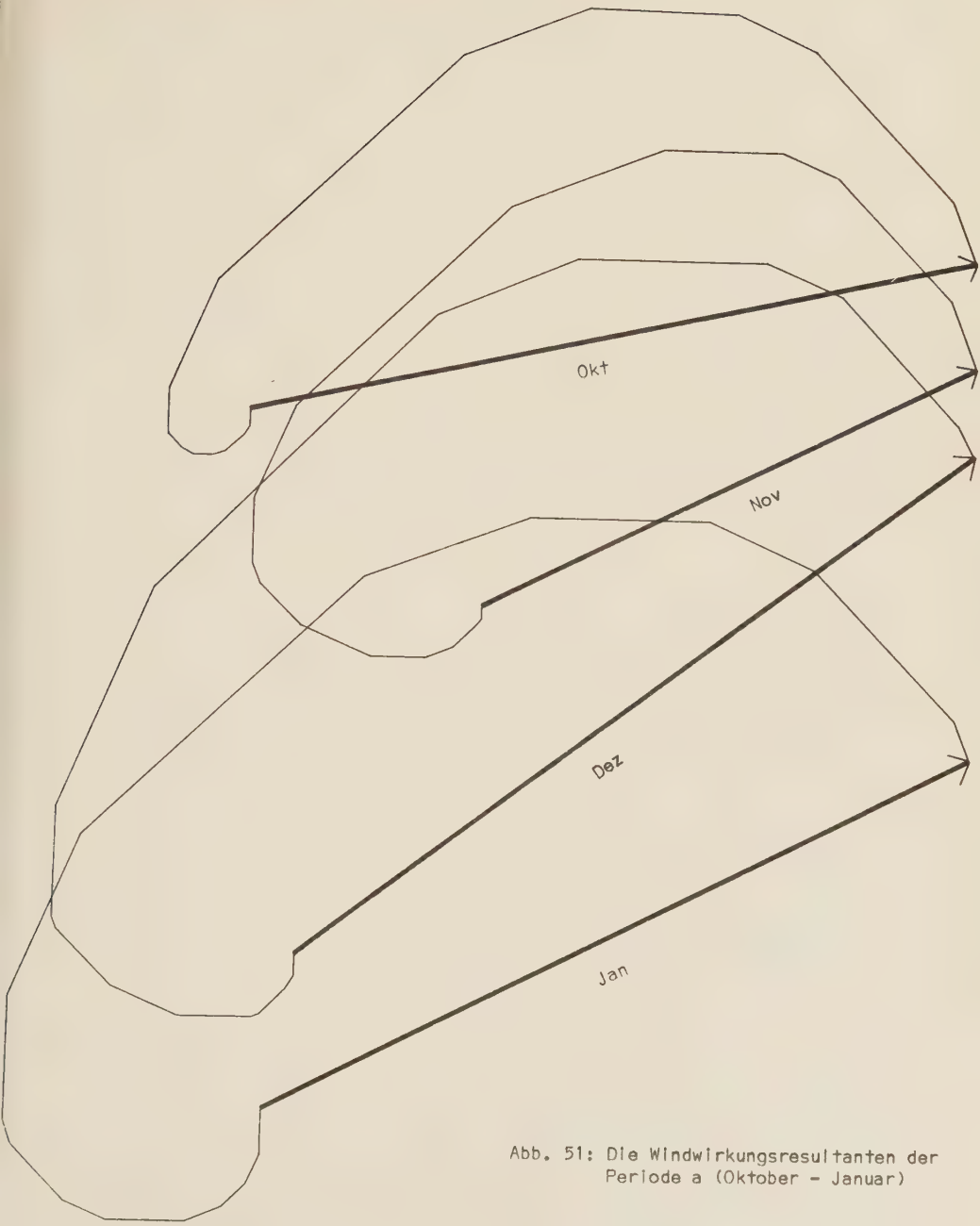


Abb. 51: Die Windwirkungsresultanten der Periode a (Oktober - Januar)

miniert, tritt nun in den Hintergrund. Von jetzt an erfolgt der überwiegende Teil des Materialtransportes und der daraus resultierende Neubildungs- und Umlagerungsprozeß unter dem Einfluß südwestlicher Winde. Sie bestimmen vor allem den Formenschatz im W des alten Dünengeländes, des SW-Neulandes und der westlichen bis mittleren Ostplate. - Die Entwicklung hält den Winter über ununterbrochen an.

November:

Der SW-Sektor verringert seinen Anteil auf 4,04 % (vorherrschende Richtung: SW = 1,83 %), kann aber trotzdem unangefochten das Monatsmaximum halten. Die Bedeutung des Sektors wäre noch größer, wenn die ihm entgegengerichteten Kräfte aus den östlichen Richtungen fehlen würden; sie bremsen seine Wirkung bzw. heben sie teilweise auf. Das gilt auch für die ähnlich wirksamen Kräfte aus den nordwestlichen Richtungen.

Der Bedeutungszuwachs des östlichen Sektors ist besonders bedeutsam, weil er nun wieder eine wichtige Rolle bei der Materialverfrachtung vor allem im Bereich der gesamten Ostplate und der nordöstlichen Abschnitte der zentralen Dünegebietes spielt. Seine Einflußsteigerung hängt auch damit zusammen, daß die übrigen Sektoren gleichzeitig einen Bedeutungsrückgang aufweisen.

Dezember:

Mit einem Anteil von 5,77 % (vorherrschende Richtung: SW = 2,44 %) ist der SW-Sektor nicht nur auch diesmal am wichtigsten; er ist auch der bedeutungsstärkste Sektor des Jahres. Sein Anteil übertrifft den des Mai, auf den das Jahresminimum fällt, um das 4,5fache. Bestände nicht der mehr oder weniger deutlich entgegengerichtete Einfluß der östlichen und der teilweise ebenfalls konträre der nordwestlichen Richtungen sowie die Einschränkungen aus den Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen, so dürfte der SW im Dezember als jener Sektor angesehen werden, der von allen Sektoren aller Monate den Formenschatz der Insel am meisten bestimmt. Winde seiner Richtung werden besonders im W und SW der Insel einschließlich der Plate wirksam, aber auch im NW, und zwar im Zusammenspiel mit den reinen W- bis WNW-Winden.

Die klare Dominanz des SW bei gleichzeitiger Bedeutungsschwäche vor allem des NW-Sektors drückt sich einerseits im Abweichen der Resultante von der W-O-Achse aus; es beträgt gut 37°. Andererseits fällt sie durch ihre weit überdurchschnittliche Länge auf.

Januar:

Obwohl die westlichen und östlichen Winde für den Materialtransport und seine Folgen knapp mittelmäßig bis durchschnittlich bedeutsam sind und die von den südwestlichen Winden geschaffenen Formen stärker verändern oder zerstören können als im Vormonat, kommt dem SW-Sektor doch die größte Bedeutung zu. Er liegt mit einem Anteil von 5,47 % (vorherrschende Richtung: SW = 2,55 %) so weit über den anderen Sektoren, daß er für die Gestaltung der meisten windbedingten Akkumulationsgebilde im Bereich von Strand und Dünengelände, die noch nicht dauerhaft fest-

gelegt sind, verantwortlich ist. Auch im westlichen Teil der Ostplate läßt er seine Einwirkung erkennen.

Erste Zwischenperiode (c.1 - Abb. 52):

Die Resultanten des Februar und März stellen eine der beiden Übergangsperioden dar. Sie nehmen einen Verlauf ungefähr in östliche Richtung; sie weichen also nur unerheblich von der W-O-Achse ab (Tab. 19). Das will aber keineswegs besagen, daß reine W-Winde in diesen Monaten vorherrschen. Die Ausrichtung ergibt sich vielmehr durch die Konstellation aus überdurchschnittlich bedeutsamen östlichen Winden, erheblich abgeschwächten südwestlichen Winden so wie leicht verstärkten Winden aus dem NW-Sektor.

Februar:

Er ist durch eine rapide Bedeutungsabnahme der südwestlichen Winde bei gleichzeitiger, weiterer Zunahme der Winde aus den übrigen Richtungen gekennzeichnet (Maximum jetzt NW: 3,63 %). Alle Sektoren liegen hinsichtlich ihrer Gesamtbedeutung dicht beieinander:

In den meisten Monaten treten Winde allein eines mehr oder weniger deutlich vorherrschenden Sektors in Erscheinung und sind für den einen oder anderen Strand- bzw. Dünenbereich bedeutungsvoll. Der Februar ist dagegen gleichzeitig für die Anhäufungs- und Umlagerungsvorgänge auf der Ostplate als auch für den Dünenauf- und Dünenabbau im NW und SW sowie die Gestaltung des vorgelagerten Strandes verantwortlich. Es erscheint sehr bedeutsam, daß die Sandverfrachtung, die auf der Einwirkung östlicher Winde basiert, in diesem Monat in überdurchschnittlichem Umfang stattfindet. Sie macht sich vornehmlich im östlichen Bereich des zentralen Dünengeländes sowie auf der gesamten Ostplate bemerkbar.

März:

Es kommt zu einer erneuten Verlagerung des Monatsmaximums; vom NW-Sektor geht es auf den östlichen Sektor über (Anteil: 4,05 %, vorherrschende Richtung: O = 1,80 %). Er ist damit der einzige Monat, in dem die östlichen Winde erhebliche Bedeutung für die Dünenbildung haben. Ihrem Einfluß wird durch die übrigen Winde verhältnismäßig wenig entgegengewirkt, weil sie bedeutungsschwächer sind.

Die nur sehr geringe Länge der März-Resultante (Längenverhältnis z. B. zu der des Juli = 1 : 8,5) hebt die Bedeutung der östlichen Richtungen gut hervor. Nur wenn man berücksichtigt, daß sich die südwestlichen Winde in ihrer Wirkungsrichtung zu denen des NW-Sektors mehr parallel als konträr verhalten, wird verständlich, warum die Resultante nicht noch kürzer ist bzw. nicht sogar westwärts verläuft.

Bei der Periode b. geht es um die Monate April bis Juli (Abb. 54):

Der Einfluß der Winde aus dem nordwestlichen Sektor übertrifft den der

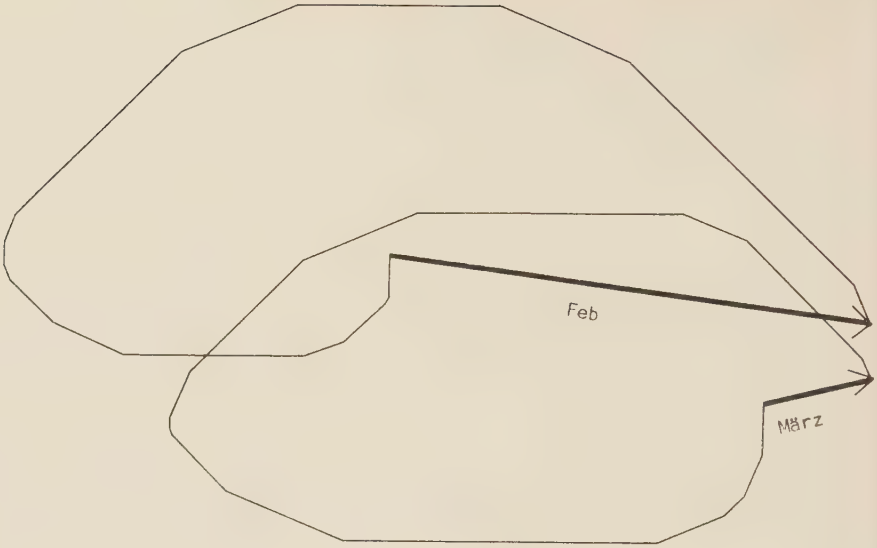


Abb. 52: Die Windwirkungsresultanten der ersten Zwischenperiode c 1 (Februar u. März)

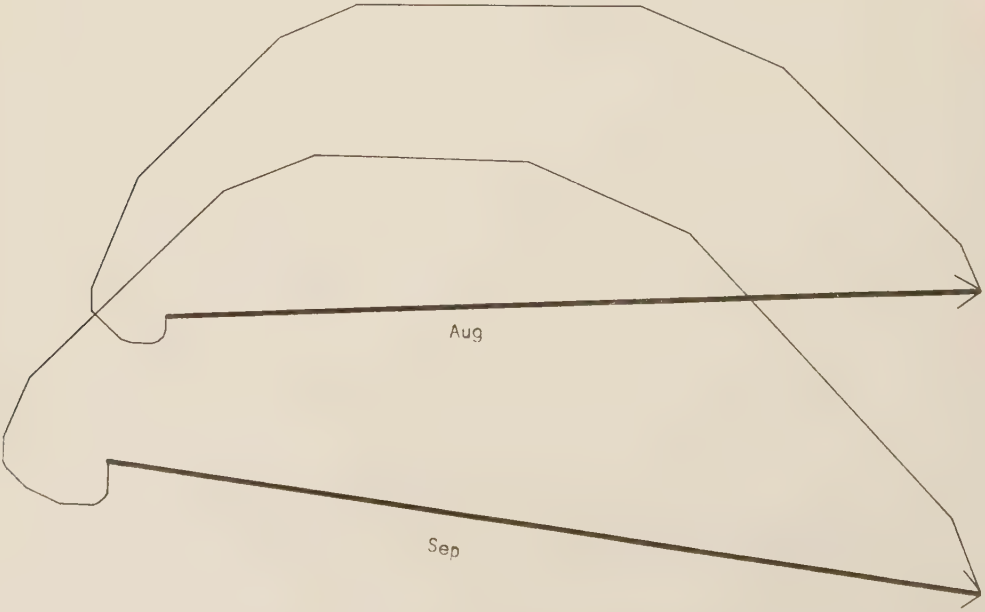


Abb. 53: Die Windwirkungsresultanten der zweiten Zwischenperiode c 2 (August u. September)

	α	VR	LR
Jan	27°54'	62°06'	5439
Feb	- 7°47'	97°47'	3120
Mär	12°29'	77°31'	699
Apr	- 26°03'	116°03'	2940
Mai	- 42°25'	132°25'	3180
Jun	- 30°21'	120°21'	4570
Jul	- 17°36'	107°36'	5950
Aug	2°33'	87°27'	5320
Sep	- 6°39'	96°39'	5750
Okt	13°26'	76°34'	5160
Nov	27°47'	62°13'	3810
Dez	37°12'	52°48'	5820
Jahr	0°48'	89°12'	51758 : 12 = 4310

Tab. 19: Ausrichtung und Länge der monatlichen und jährlichen Resultanten (α = Winkel zwischen O-Achse und Resultanten; VR = Verlauf der Resultanten in der Windrose, N = 0°, O = 90°; LR = Länge der Resultanten)

Winde aus den anderen Sektoren ganz erheblich; die Resultanten verlaufen daher ausnahmslos in südöstliche Richtungen. - Vergleicht man ihre mittlere Ausrichtung mit der der Resultanten von Oktober bis Januar, so fällt auf: Sie weichen im Verhältnis deutlicher von der W-O-Achse ab. Im ersten Fall beträgt die durchschnittliche Abweichung 29°06', im zweiten nur knapp 27°. Das spricht für einen etwas stärkeren Bedeutungsunterschied zwischen den Richtungen der westlichen Sektoren im Frühjahr und zum Sommeranfang.

April:

Es ergibt sich wieder eine Verlagerung des monatlichen Bedeutungsmaximums und eine auffällige Veränderung der Stellung der einzelnen Sektoren zueinander. So halten die Winde der nordwestlichen Richtungen mit nur 3,02 % (vorherrschende Richtung: NW = 1,07 %) die Spitze. Trotzdem sind sie - ähnlich wie im Februar - zusammen mit den weiter abgeschwäch-

ten des südwestlichen Sektors nicht sehr bedeutungsvoll. Die Entstehung bzw. Ausweitung von Akkumulationsgebilden erreicht also im Bereich des SW- und Nordstrandes sowie der angrenzenden Dünengebiete einen unterdurchschnittlichen Umfang.

Der O-Sektor spielt noch eine verhältnismäßig wichtige Rolle, obgleich er in diesem Monat nur über einen nicht einmal mittleren Bedeutungsanteil verfügt. Daher ist die Sandzufuhr und Dünenbildung im Bereich der Ostplate und der nordöstlichen Abschnitte des zentralen Dünengebietes einigermaßen bedeutsam.

Mai:

Er bringt keine wesentlichen Richtungsänderungen. Am bedeutungsvollsten sind weiterhin die Winde des NW-Sektors (Anteil: 3,40 %, vorherrschende Richtung: NW = 2,00 %). Der Prozeß der Dünenbildung erlangt also im Bereich des Nordstrandes von Insel und Plate den größten Umfang. Auf den NW folgt mit einem erheblich geringeren Anteil und einem entsprechenden Einfluß der O-Sektor. Die geringste morphologische Bedeutung hat noch einmal der SW-Sektor.

Wie Abb. 54 zu erkennen gibt, verfügt die zeichnerische Hilfskonstruktion zur Ermittlung der Resultante über eine merkwürdige Form: Die Resultante kreuzt den Pfeil, der für die Bedeutung einer der westlichen Richtungen steht. Das weist darauf hin, daß die morphologische Bedeutung der nordwestlichen Winde wesentlich größer ist als die der anderen. Ein solcher Fall tritt im Jahresverlauf nicht noch einmal auf.

Juni:

Der NW-Sektor vereinigt auch im Juni die bedeutungsstärksten Richtungen auf sich. Er kann seinen Anteil an der gesamten morphologischen Bedeutung aller Winde und den Abstand auf den folgenden Sektor noch vergrößern (Anteil: 4,16 %, vorherrschende Richtung: NW = 2,08 %)

Obwohl der SW-Sektor, der seit Beendigung seiner rückläufigen Anteilsentwicklung im Mai nun eine verbesserte Stellung einnimmt, an Bedeutung gewinnt, tritt er der Wirkung des nordwestlichen Sektors bei weitem nicht in dem Maße wie der O-Sektor bei entsprechender Windmenge entgegen. Seine westlichen Richtungen vergrößern nämlich eher den NW-Einfluß.

Juli:

Es ergeben sich gegenüber dem Vormonat keine Abweichungen in der Rangfolge der einzelnen Sektoren. Die Bedeutungsanteile haben sich allerdings verändert, und zwar so, daß der Juli hinsichtlich des Materialversatzes und der Vorgänge besonders der positiven Dünenentwicklung auf der ganzen Insel mit Abstand vor allen Sommermonaten rangiert. Der NW-Sektor hält mit 4,89 % das Monats- und sein Jahresmaximum (vorherrschende Richtung: NW = 2,11 %). Der östliche Sektor ist dagegen einem weiteren Bedeutungsrückgang unterworfen.

Der Juli weist die bei weitem längste Resultante auf. Das gibt zu erkennen, daß keinmal sonst die vorherrschenden Winde so einflußreich bzw.

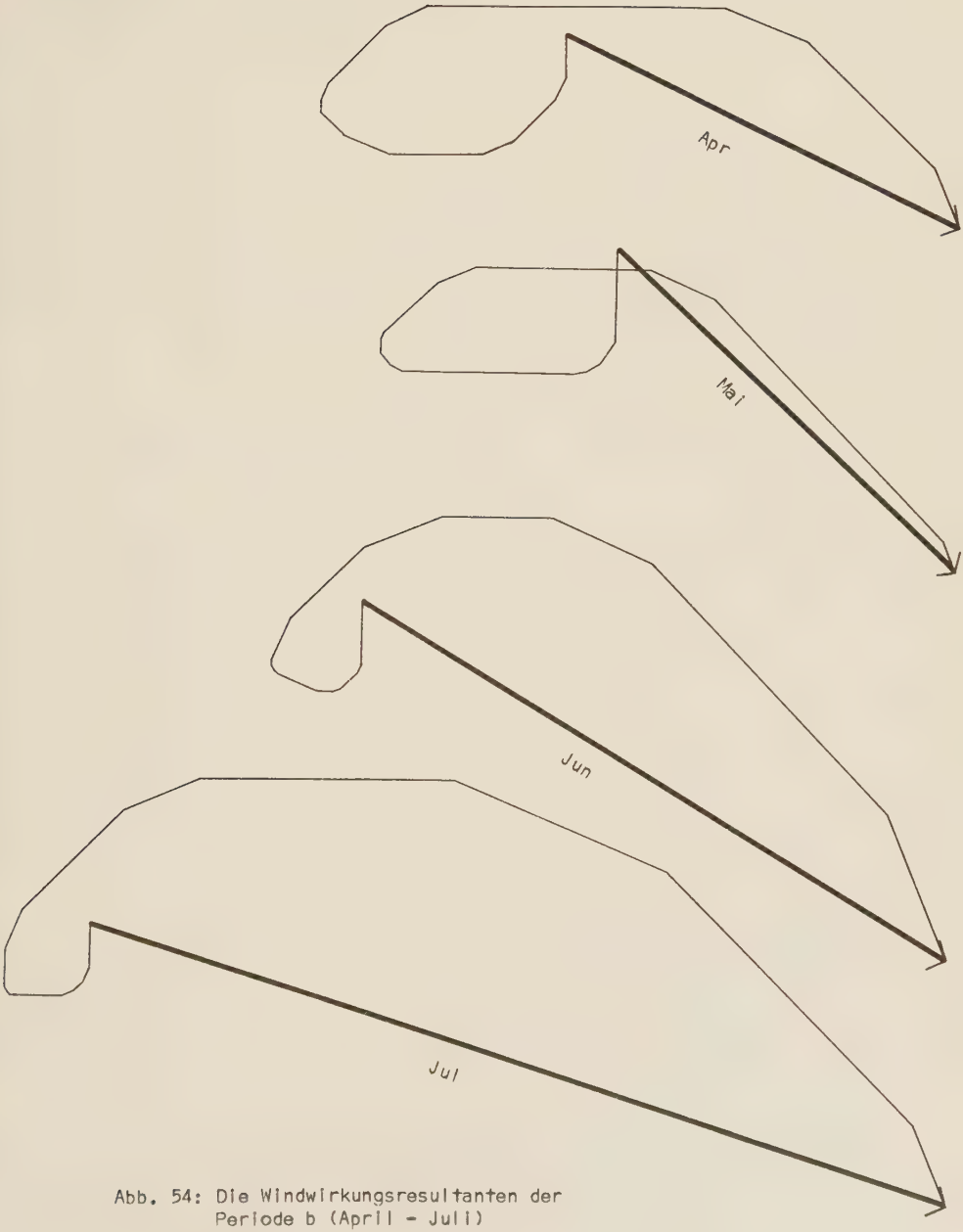


Abb. 54: Die Windwirkungsresultanten der Periode b (April - Juli)

die Winde, die diesen gleichsam bedeutungsschwächend entgegenwirken, so wenig einflußreich sind.

Zweite Zwischenperiode (c.2 - Abb. 53)

Die Resultanten des August und September bringen wieder eine Übergangsperiode zum Ausdruck. Sie verhalten sich also ungefähr wie die jenes Zeitraumes, in dem die Hauptbedeutung vom südwestlichen auf den nordwestlichen Sektor übergeht, d. h. die Winde der beiden westlichen Sektoren zeitweilig fast den gleichen morphologischen Einfluß ausüben: Sie nehmen einen der W-O-Achse deutlich angeglichenen Verlauf. - Dieser ist sogar noch ausgeprägter als in der ersten Zwischenperiode, denn die August-Resultante kommt mit ihrer Ausrichtung fast genau nach O (α = 2°35') der Achse so nahe wie keine andere Resultante.

August:

Obwohl der SW-Sektor für den Materialtransport und den Dünenaufbau vor allem im Bereich des SW-Strandes sowie der Süderdünen eine Bedeutung aufweist, wie er sie seit Januar nicht besitzt (Anteil: 3,27 %), geht von den westlichen Sektoren zusammen kein ebenso großer Einfluß auf den Formenschatz der Insel aus wie im Vormonat oder am Jahresbeginn. Der Grund ist in der Abnahme der nordwestlichen Richtungen zu sehen (NW-Anteil: 3,51 %). - Zusammen mit der Bedeutungsverminderung der östlichen Richtungen kennzeichnet sie den August als einen für die Dünenaufhöhung und -ausbreitung im Bereich der ganzen Insel nur mäßig wichtigen Monat. Eine Begünstigung ergibt sich allerdings aus folgendem:

a. Seine hohen Lufttemperaturen (Mittel 15,9 Grad C) beeinflussen - trotz der häufigen Niederschläge (Mittel 95 mm) - den Sandtransport positiv und gleichen die Windarmut teilweise aus.
b. Eine Bedeutungszunahme findet durch den Umstand statt, daß die Vegetation sich voll entfaltet hat und besonders die sandfangenden Gräser nun stärker als in einem der Vergleichsmonate ihrer Aufgabe als Dünenbauer nachkommen.

September:

Die Bedeutungsverteilung auf die einzelnen Sektoren ergibt ein vom Vormonat erheblich abweichendes Bild:

Der NW-Sektor vergrößert seinen Anteil beträchtlich, und zwar auf 4,44 % (vorherrschende Richtung: NW = 2,20 %). Er erreicht damit ein zweites Jahresmaximum, das nur wenig hinter dem des Juli zurückbleibt. Die südwestlichen Richtungen lassen dagegen leicht nach. Sie sind mit 3,18 % zwar nicht seltener als im August, stehen jedoch hinter den nordwestlichen Winden auch diesmal weit zurück. Trotzdem vermag der SW-Sektor das klare Vorherrschen des NW leicht zu beschränken, indem er die von diesem erzeugten lageinstabilen Anhäufungsformen des westlichen Inselteils und der Ostplate abbaut oder zumindest umlagert: Die reinen W-Winde fehlen, die bei beiden Sektoren sonst eine gleichgerichtete Wirkung hervorrufen. Es dominieren vielmehr einerseits die reinen SW-Winde und andererseits die reinen NW-Winde. Die entgegengesetzte Einwirkung drückt sich teilweise

in der Form und Ausrichtung der fast parallel verlaufenden Dünenzüge aus, wie sie für den Nordteil des zentralen Dünengeländes typisch sind.

Der östliche Sektor bleibt trotz einer geringen Anteilszunahme unbedeutend.

Betrachtet man den Jahresverlauf insgesamt (Abb. 55), so ist festzustellen:

Die Jahresresultante verläuft fast genau nach O (VR = 89°12'). Das besagt: Die morphologische Bedeutung der Winde aus dem südwestlichen Sektor ist ungefähr ebenso groß wie die der Winde aus dem nordwestlichen. (SW-Anteil: 38,91 %, NW-Anteil: 39.89 %). Weitgehende Übereinstimmung besteht in dieser Hinsicht auch zwischen dem nordöstlichen und dem südöstlichen Sektor (9,56 % zu 11,64 %).+) Sie machen zusammen allerdings nur ein knappes Viertel der Bedeutung der westlichen Sektoren aus.

Zwei Einschränkungen müssen gemacht werden; sie bringen eine Bedeutungsschmälerung des südwestlichen Sektors bzw. eine leichte Bedeutungserhöhung der östlichen Sektoren zum Ausdruck:

a. Die südwestlichen Winde kommen den nordwestlichen bedeutungsmäßig weniger nahe, als es die geringe Differenz ihrer Anteile (0,98 %) glauben macht; denn im Gegensatz zu jenen passieren sie - ehe sie die Dünengebiete erreichen - ja nicht die "Materialquelle nasser und trockener Strand". Sie treten vielmehr als ablandig ausgerichtete Kräfte auf und sorgen daher vor allem in den randlichen, der See zugekehrten Abschnitten der Dünengebiete des westlichen Inselteils und der Plate für einen teilweise endgültigen Materialentzug. Eine wichtige Ausnahme bildet der SW-Strand.

b. Östliche Winde sind für die Materialverfrachtung und Dünenbildung als etwas wichtiger anzusehen, als es aufgrund ihres ziemlich geringen Anteils zunächst scheint: Sie treten in der Regel während verhältnismäßig trockener, also die Sandverfrachtung und ihre Folgen begünstigender Zeitspannen auf. Außerdem passieren sie die reiche Materialquelle, wie sie in Gestalt der häufig überfluteten Spitze der Ostplate sowie der Strandfläche zwischen den Dünengebieten von westlichem Inselteil und Plate besteht.

Der Verlauf der Jahresresultante bedingt, daß für Spiekeroog im Durchschnitt von einem äolischen Materialtransport in östliche Richtungen gesprochen werden muß. Bei der Anlage sowie der positiven und negativen Gestaltung des Formenschatzes vor allem im nur episodisch überfluteten

+) Abb. 55 veranschaulicht die Übereinstimmung gut. Würde man auf dem Pfeil, der die Bedeutung der W-Winde widerspiegelt, das Lot fällen und um dieses den Bogenabschnitt aus den Pfeilen für WNW bis N klappen, so ergäbe sich zwischen ihm und dem aus den Pfeilen für S bis SSW beinahe Deckungsgleichheit. Entsprechend verhalten sich die Abschnitte der nordöstlichen und südöstlichen Richtungen zueinander. Das Lot müßte in ihrem Fall auf dem O-Pfeil angebracht werden.

und ständig wasserfreien Bereich von Insel und Plate spielt die ostwärtige Komponente also die größte Rolle:

Bei den wandernden Akkumulationsgebilden liegen die Zehrgebiete vornehmlich im W und die Nehrgebiete im O, die Sandfahnen hinter Hindernissen ziehen sich am häufigsten nach O aus, die langestabilen Formen weiten sich in erster Linie ostwärts aus, die Windrisse öffnen sich in der Regel nach W usw. Daraus ist zu schließen: Bei der Aufhöhung der "Strandinsel Ostplate" und ihrer anschließenden Entwicklung zur "Düneninsel" gehen von jener Zeitspanne an, in der sie einige Dezimeter über MThw gewachsen ist (= von jener Entwicklungsphase an, die eigentlich die Inselwerdung einleitet), alle windbedingten Gestaltungsprozesse im Mittel von W her aus.

Der Resultantenverlauf gibt aber nicht nur den Schwerpunkt in der Ausrichtung der äolischen Materialverfrachtung usw. an. Er zeigt auch, daß der Versatz im Vorstrand- und Strandbereich und infolgedessen

1. die Inselachse sowie die Inselausweitung besonders in Gestalt der Ostplate und
2. selbst die Anlage und Entwicklung der vorausgehenden Strandinsel

einen starken O-Akzent aufweisen müssen. Der Wind übt nämlich - worauf schon oben im Zusammenhang mit der kleinformatigen Materialverfrachtung durch Wasser hingewiesen wurde - einen ganz erheblichen Einfluß auf die Wirkungsrichtung und -stärke der hydrologischen Kräfte zumindest in der Flachwasserzone aus.+)

+) Abb. 55 enthält außer der Resultante nach $n \cdot Mv$ die Resultanten auf der Grundlage von $n \cdot 1$, $n \cdot v$ und $n \cdot v^2$. Diese werden angegeben, um noch einmal zu verdeutlichen, wie stark das Wirkungsgesamtbild des Windes, das nur anhand der beschriebenen Messungen im Gelände zu gewinnen ist, von jenem abweicht, bei dem der tatsächliche Umfang der Transportleistung der einzelnen Stärken keine oder eine nur unvollkommene Berücksichtigung erfährt.

Während die Resultante nach $n \cdot Mv$ mit der Ausrichtung der Gesamtinsel einerseits und ihrer meisten Oberflächenformen in der längsten Zeit des Jahres identisch ist, weichen die anderen Resultanten teilweise erheblich davon ab. Es finden sich nämlich im zeitlich unbegrenzten Raum, d. h. innerhalb des dauerhaften Formenschatzes, kaum Akkumulationsgebilde, die von WSW nach ONO ausgerichtet sind.

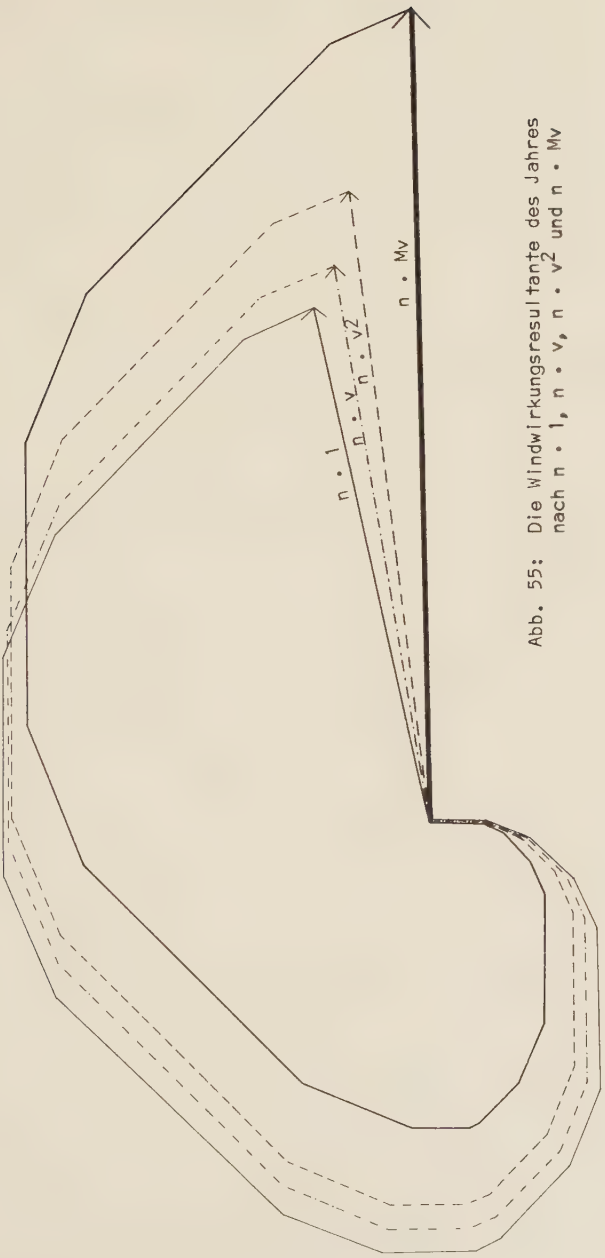


Abb. 55: Die Windwirkungsresultante des Jahres nach n • 1, n • v, n • v^2 und n • Mv

2.3.2.3 Die Überprüfung der nach n . Mv bestimmten Bedeutung der verschiedenen Abschnitte des Jahres

Es ist Antwort auf die Frage zu geben, ob die obigen Aussagen zur morphologischen Bedeutung der Monate zu Recht bestehen: Erreicht der Einfluß des Transportmittels in den einzelnen Zeitabschnitten des Jahres tatsächlich den Umfang, der nach n . Mv ermittelt worden ist, oder wird dieser durch Niederschlag, Temperatur, Bewölkung sowie Sonneneinstrahlung eingeschränkt bzw. noch vergrößert? Die Beantwortung setzt voraus, daß die genannten klimatischen Erscheinungen kurz charakterisiert werden, und zwar besonders in Hinblick auf ihre mögliche Bedeutung für die Sandverfrachtung und Dünenbildung:

2.3.2.3.1 Die Spiekerooger Erscheinungeformen der wichtigsten Klimaelemente und ihre Beziehung zum Materialtransport

2.3.2.3.1.1 Lufttemperatur, Sonnenschein und Bewölkung (Abb. 56)

Die thermischen Verhältnisse Spiekeroogs und der anderen ostfriesischen Inseln werden weitgehend durch die Windverteilung und den damit in Zusammenhang stehenden Grad des Meereseinflusses bestimmt. Es liegen so typische Merkmale vor, daß das Inselgebiet als selbständiger Klimakreis angesehen werden muß, der sich vom weniger ozeanisch getönten "Nordseeküstenkreis" (HOFFMEISTER, 1937) abhebt. Dazu trägt vor allem der Verlauf 1. der 15 Grad-Linie der jährlichen Schwankung zwischen dem höchsten und niedrigsten Monatsmittel und 2. der Datumslinie des letzten Frostes bei; durch sie erfahren die Inseln eine klare Abgrenzung vom Festland. - Im einzelnen ergeben die monatlichen Temperaturmittel im Jahresablauf folgendes Bild:

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
1,1	1,9	3,7	6,9	11,0	14,0	16,0

Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
15,9	14,0	9,5	5,1	2,6	8,5

Jährliche Schwankung: 14,9

Tab. 19: Die Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur in Grad C (Spiekerooger Mittel 1881 - 1950)

Dem Umstand, wonach das Sommerhalbjahr trotz

a. der ziemlich hohen Sonnenscheindauer (vgl. unten) und

b. der thermisch sehr günstigen Bodenarten wie leicht erwärmba-

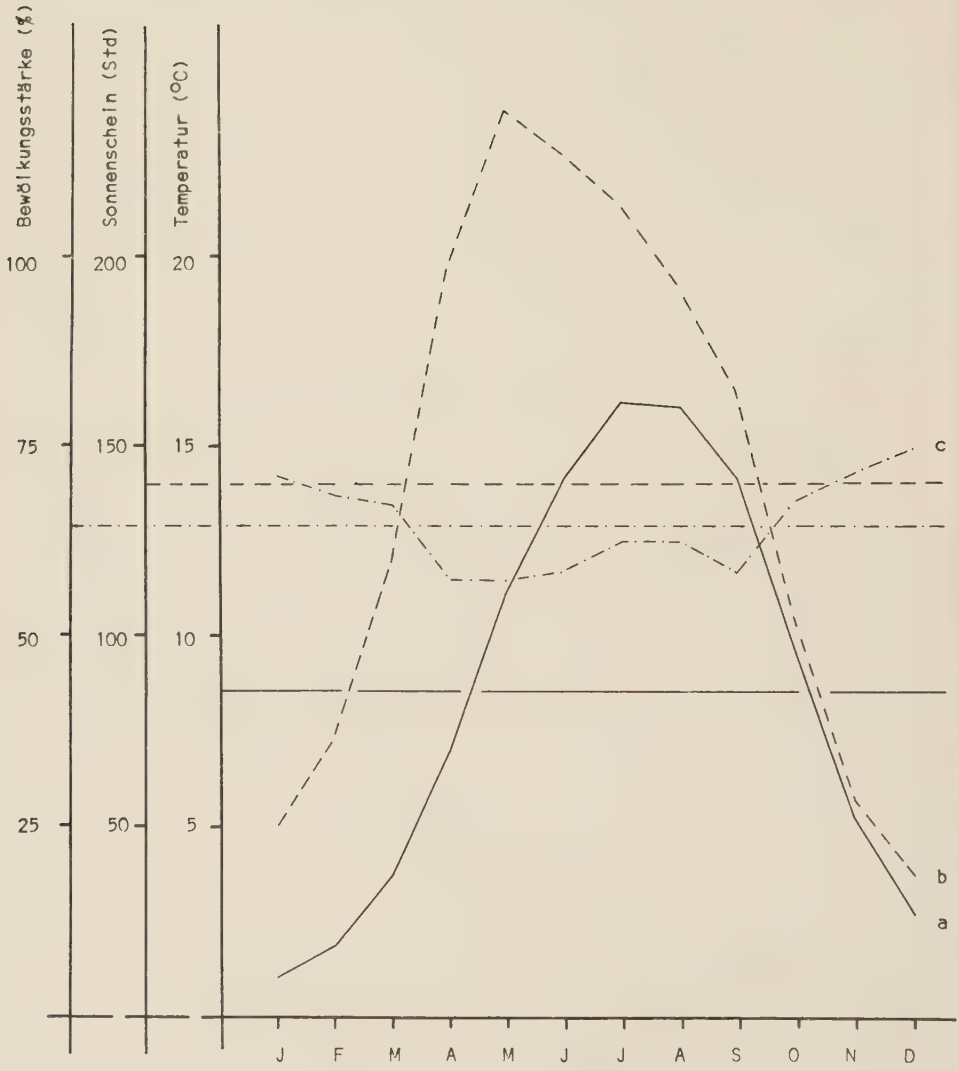


Abb. 56: Die Monats- und Jahresmittel (1881 - 1930/1950)

a) der Lufttemperatur
b) der Sonnenscheindauer
c) der Bewölkungsstärke

rer Rohboden (kalkhaltiger, stellenweise mit einer dünnen Schlickdecke versehener Sand und Flugsand in Form von Dünen mit flachem Podsol oder flacher Braunerde)

verhältnismäßig lange verhältnismäßig kühl bleibt (= negative Verzögerung) kommt in Hinblick auf den Beginn der Vegetationsperiode keine große Bedeutung zu. Dieser liegt nur unwesentlich hinter dem in Ostfriesland (mittlere Temperatur +5 Grad; im Durchschnitt zwischen dem 25. und 31. März). Das bedeutet: Es ergibt sich kein nachteiliger Einfluß auf das Wachstum der sandfangenden und -bindenden Pflanzen. Die Entstehung und Ausweitung von lagestabilen, dauerhaften Dünen erfahren aufgrund der Insellage also keine Beeinträchtigung in Form einer zeitlichen Verzögerung.

Das Gegenteil ist im Herbst der Fall: Die positive Verzögerung in der zweiten Hälfte des Sommerhalbjahres und zu Beginn des Winterhalbjahres, die sich ab August bemerkbar macht, sorgt nämlich nicht nur dafür, daß der eigentliche Inselwinter recht kurz ist. Legt man jene Definition zugrunde, wonach sich für den Winter mindestens ein fünftägiges Mittel von 0 Grad ergeben muß (HOFFMEISTER, 1937), würde diese Jahreszeit auf Spiekeroog nur vom 6. bis 13. Januar dauern. Die Verzögerung hat auch erhebliche morphologische Bedeutung: Sie zeitigt eine auffällige Verlängerung der Vegetationsperiode. Während diese in Ostfriesland durchschnittlich zwischen dem 10. und 15. November endet, weil dann die besagte 5 Grad-Tagestemperatur unterschritten wird, schiebt sie sich auf der Insel bis gegen Ende November hinaus. Infolgedessen ergibt sich

a. ein Ausgleich der Standortungunst für Ansiedlung und Wachstum bestimmter Pflanzen, die durch die Windverhältnisse bedingt ist,

b. eine längere zeitliche Aktivität der sandfangenden und -bindenden Gräser.

Die Dünenbildung sowie die Dünenausweitungs- und -aufhöhungsvorgänge und damit der Prozeß der Inselsicherung halten länger an, als es im Binnenland unter sonst gleichen Voraussetzungen der Fall wäre.

Sonnenschein und Bewölkung spielen zwar keine so wichtige Rolle wie die Temperatur. Sie sind aber doch bedeutsam, weil sie auf die Transportfähigkeit des Sandes unter bestimmten Voraussetzungen sowie auf das Pflanzenwachstum direkt und damit auf die Bildung bzw. Vergrößerung von dauerhaften Akkumulationsformen indirekt einwirken. - Da die Sonnenscheindauer in enger Beziehung zur Bewölkungsdichte steht, sollen hier beide zusammen betrachtet werden.

Da zwischen Temperatur und Sonnenscheindauer ein enges Abhängigkeitsverhältnis vorliegt, weil die Temperatur ja die Funktion der Sonnenenergie ist, ergibt sich zwischen der Größe der Monatsmittel der beiden Elemente eine deutliche Parallelität. - Im Inselbereich ist die Bewölkung, die vor allem auf dem Umweg über die von ihr herbeigeführte Veränderung der Sonnenscheindauer als morphologischer Faktor wirksam wird, generell nicht so hoch wie im Gebiet selbst der küstennahen Orte. Sie weist in ihrem Jahresgang weitgehend eine umgekehrte Parallelität mit der Kurve der Sonnenscheindauer und vor allem mit der Temparatur-Kurve auf.

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
50	73	121	196	238	227	213
3,0	4,4	7,2	11,9	14,3	13,6	12,8

Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
191	163	104	56	36	1668 (139)
14,9	9,8	6,2	3,3	2,1	100 %

Tab. 20: Monats- und Jahresmittel der Sonnenscheindauer in Std. und % (Borkumer Mittel 1881 - 1930)

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
70	68	67	57	57	58	62

Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
62	58	67	71	74	64

Tab. 21: Monats- und Jahresmittel der Bewölkungsstärke in % (Borkumer Mittel 1881 - 1930)

2.3.2.3.1.2 Niederschlag (Abb. 57)

Neben dem Wind und der Temperatur kommt dem Niederschlag die größte morphologische Bedeutung zu, denn er stellt einen Faktor dar, der die Ansiedlung und Ausweitung von Dünenpflanzen erheblich mitbestimmt. Er ist also indirekt an der Dünenbildung und Inselwerdung beteiligt.

Die Zugehörigkeit des Untersuchungsgebietes zum Westwindgürtel bedingt, daß der vorherrschende Niederschlagstyp Zyklonalregen ist. Genauer gesagt: Die Insel liegt mehr oder weniger am Rande des Einflußbereichs der von W nach O bzw. NO ziehenden Zyklonen oder Zyklonalausläufer, die zu allen Jahreszeiten Niederschläge veranlassen. Trotzdem haben die mittlere Monatssummen einen für Spiekeroog und die übrigen Glieder der Inselkette und das meernahe Ostfriesland typischen Gang.

Das Untersuchungsgebiet verfügt über eine leicht überdurchschnittliche hygrische Ozeanität (Differenz zwischen der Niederschlagssumme der Monate August bis Oktober einerseits und der der Monate Mai bis Juli andererseits: 74 mm). Obwohl diese durch die Konzentration fast der Hälfte des gesamten Niederschlags (44,6 %) auf die vier Monate Juli bis Oktober zum Ausdruck gebracht wird, erscheint in Hinblick auf die Vegetationsverhältnisse die Feststellung gerechtfertigt: Keine Phase der Wachstumsperiode ist wirklich benachteiligt. Es ergibt sich nämlich zu keinem Zeitpunkt des Jahres eine ausgesprochene Regenarmut.

Abb. 57: Der monatliche Niederschlag in % der Jahressumme (Spiekerooger Mittel 1881 - 1950)

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
46	38	41	40	41	56	69
6,6	5,5	5,9	5,8	5,9	8,1	10,0

Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
95	70	75	59	63	639
13,7	10,1	10,8	8,5	9,1	100 %

Tab. 22: Monatliche Niederschlagssummen in mm Niederschlagshöhe und in % der Jahressumme (Spiekerooger Mittel 1881 - 1950)

Daß das Niederschlagsmaximum gerade auf den August und die ihm ungefähr größenmäßig folgenden Monatssummen auf den Juli und September fallen, ist morphologisch überaus bedeutsam:

Die große Niederschlagsmenge gleicht die verhältnismäßig hohe Lufttemperatur sowie den hohen Grad der Einstrahlung in diesen Monaten aus und verhindert damit ein Ausbrennen der Pflanzendecke. Das bedeutet: Die Pflanzen der im Entstehen begriffenen Anhäufungsformen einerseits und die der zumeist nur sehr flachen, also leicht verletzbaren Vegetationsdecke der alten Dünen andererseits können uneingeschränkt ihrer Aufgabe nachkommen, Sand zu fangen bzw. dauerhaft festzulegen. Fände dieser Ausgleich nicht statt, würden ...

a. die Dünenbildung und -ausweitung und damit die Inselsicherung verlangsamt, wenn nicht sogar früher, als infolge der übrigen Bedingungen eigentlich nötig, beendet.
b. Es käme - und das wäre für die weitere Inselentwicklung mindestens ebenso nachteilig - im alten Dünengelände stärker als im Augenblick aufgrund von Umlagerungsvorgängen zu Veränderungen und möglicherweise sogar zur völligen Zerstörung der bestehenden Formen. Denn: Abgesehen von den Randdünen und den Dünen, die sich den Windrissen in ihnen leeseitig anschließen, liegt dieses Gebiet durchweg so ungünstig zu den materialliefernden Inselteilen, daß die Zufuhr frischen Sandes so gut wie ganz fehlt. Die entstehenden Schäden können daher von der Natur nicht selber behoben werden.

Zum Einfluß des Niederschlags auf die windbedingte Materialverfrachtung:

Wie in der Literatur verzeichnete Beobachtungen (z. B. WINDBERG, 1937; GRIPP, 1968) und eigene Untersuchungen zeigen, trocknet nasser Sand verhältnismäßig schnell ab. Er entbehrt daher nur kurze Zeit seiner Funktion als wichtiger Faktor der Dünenbildung. Die rasche Trocknung tritt nicht allein nach nur leichten Niederschlägen ein, sondern auch nach heftigen, anhaltenden Güssen, von denen eine intensive Durchfeuchtung ausgeht. Das hängt mit dem Vorgang der Versickerung zusammen, der seinerseits vom Porenvolumen des Sandes (= in den oberen Schichten des Strandsandes: weit über 50 %) bestimmt wird.

Die Trocknung geht besonders rasch vonstatten, wenn sie unter Einwirkung direkter Sonneneinstrahlung oder hoher Lufttemperatur erfolgt.

> Es konnte im alten Dünengelände und in den jungen Anhäufungszonen der westlichen Plate beobachtet werden, daß der Sand im Schatten von begrünten oder instabilen Dünen viel langsamer die Feuchtigkeit verliert und transportfähig wird als im Bereich direkter Bestrahlung. Dieser Umstand ist übrigens von erheblicher morphologischer Bedeutung: Die Sanddecke vor allem unter nicht sehr dicht stehenden, womöglich schon teilweise zerstörten Pflanzen lagestabiler Anhäufungsformen, die ja - wollen sie ihrer Funktion als Dünen- bzw. Inselbildner gerecht werden - keine grundlegenden Veränderungen als Folge allein von Materialentzug erfahren sollten, bleibt viel länger feucht. Daher ist sie den Kräften, durch die der Abtransport veranlaßt werden könnte, längere Zeit unzugänglich als die pflanzenfreie Strandebene und die Sonnenseite der instabilen Bildungen.
>
> Beobachtungen auf dem oberen trockenen Strand in Höhe der großen Bake ergaben, daß sowohl im Februar als auch im Juli das Sandwehen, das durch einen ungefähr gleich starken und anhaltenden Regenschauer unterbrochen worden war, nach fünf bis zehn Minuten wieder stark einsetzte. Das geschah, obwohl zum letztgenannten Zeitpunkt das Beobachtungsgebiet nicht unter Sonnenbestrahlung lag (Windstärke in beiden Fällen: ca. 5,5 Bft).

Die beiden Beobachtungen machen deutlich, daß sommerliche Lufttemperatur ebenso wirksam sein kann wie Sonnenschein während des Winterhalbjahres.

Eine wichtige Rolle spielt im Zusammenhang mit der raschen Minderung bzw. Ausschaltung des verfrachtungshemmenden Einflusses der Niederschläge das Transportmittel selber. Der bodennahe Luftstrom bewirkt bekanntlich eine schnelle Abtrocknung; sie ergibt sich umso eher, je höher die Geschwindigkeit ist, mit der die Luft über das feuchte Material streicht.

Hinzu kommt der Umstand, daß der Wind den Sand auch dann verfrachtet, wenn dessen ursprünglicher, d. h. trockener Zustand, noch nicht wieder erreicht ist: Im Rahmen der Saltation werden die exponiertesten Körner, die am schnellsten trocknen, gleich nach dem Abklingen des Regens aufgenommen, windabwärts verfrachtet und bei der Landung gegen andere Körner geschleudert. Der Aufprall reicht meistens aus, die getroffenen Partikel in Bewegung zu bringen, und zwar selbst wenn sie noch feucht sind.

2.3.2.3.2 Das Ergebnis der Überprüfung

Als Vorwegnahme des Ergebnisses ist festzustellen: Die Bedeutung, die den einzelnen Monaten anhand von n . Mv zugemessen worden ist, widerspiegelt weitgehend die tatsächlichen Verhältnisse. Damit haben auch jene Gebiete eine richtige Nennung erfahren, in denen jeweils die Entstehung von lageinstabilen oder dauerhaften Anhäufungsformen sowie die Dünenausweitung oder -umlagerung stattfinden. Der Niederschlag als Element, das den Sandtransport und die Folgen daraus am meisten behindert,

tritt nämlich ungefähr zu jenen Zeitpunkten des Jahres besonders in Erscheinung, in denen die vornehmlich positiven Elemente durch ein ebenso starkes Auftreten den Klimaablauf mitbestimmen:

Der Verlauf der Niederschlagshäufigkeit entspricht - von Abweichungen vor allem während der Monate Januar bis April/Mai abgesehen - etwa jener der Temperatur, die ja als einer der wichtigsten Faktoren zum Ausgleich des Regeneinflusses anzusehen ist. Ähnliches gilt für die Kurve der Sonnenscheindauer; ihr kommt ebenfalls erhebliche Bedeutung für den schnellen Wiederbeginn und den Umfang des Fortgangs der Materialverfrachtung nach Regenfällen zu. Läßt man Details (= Abweichungen während der Wintermonate, Zeitdifferenzen bezüglich des Maximumeintritts) außer acht, so steigt die Sonnenscheinkurve ungefähr dann an, wenn die Niederschlagskurve auf ihren Höchstwert zustrebt bzw. hält ihr Minimum, wenn der wenigste Regen fällt (Abb. 56 und 57).

Das bedeutet: Die Sommermonate haben hinsichtlich des Materialtransportes jene Bedeutung, die ihnen oben aufgrund ihrer Winde am Bedeutungsgesamtwert zugemessen worden ist. Wahrscheinlich verhalten sie sich sogar noch günstiger, denn selbst der Einfluß heftiger Schauer, durch die hauptsächlich die sommerliche Niederschlagssumme bedingt wird, erfährt - aufgrund des ausgeprägten Zustandes der ihn einschränkenden Elemente - eine schnellere und gründlichere Abschwächung und Beendigung, als das während des Winterhalbjahres der Fall ist. Während dieser Zeit reicht nämlich der Einfluß von Temperatur und Sonneneinstrahlung nicht immer aus, um die Behinderung bzw. Unterbindung des Sandwehens selbst infolge Nieselregens einzuschränken.

Dieser Umstand wird durch den Wind selber einigermaßen ausgeglichen, indem er für das besagte beschleunigte Abtrocknen sorgt. Ganz unterbunden wird die Benachteiligung der Wintermonate, d. h. das Herabsetzen der für sie angegebenen morphologischen Bedeutung, jedoch nicht: Gerade ihre Winde bringen den zwar geringen, dafür aber lange anhaltenden Niederschlag.

Außerdem spielen Schnee und Frost zumindest zeitweilig eine bedeutungsschwächende Rolle: Indem sie den Sand den Transportkräften unzugänglich machen und besonders indem sie ihn an Ort und Stelle binden, unterbrechen oder verlangsamen sie die Materialverfrachtung. Das ist sogar bei Winden mit schubstarken Geschwindigkeiten der Fall, wenn also bei trokkenem oder leicht feuchtem Oberflächenzustand des Sandes sich ausgeprägte Transportvorgänge einstellen würden.

Der winterliche Zustand der Vegetation ändert ebenfalls nichts an der Verkleinerung der Bedeutungshöhe der Wintermonate. Das Gegenteil trifft eher zu: Die morphologische Bedeutung wird stärker herabgesetzt als in den Sommermonaten, weil neben dem - in Hinblick auf die Inselwerdung sehr wünschenswerten - Materialtransport auf dem Strand auch Umlagerungs- und Verfrachtungsvorgänge auf Kosten bestehender Dünen erfolgen. Diese haben nämlich an der einen oder anderen Stelle ihre endgültige Stabilität verloren oder noch nicht erhalten.

Der Sandentzug muß aber selbst bei ablandigen Winden nicht immer einen dauernden oder auch nur vorübergehenden Verlust des Anhäufungsmaterials und damit einen Rückschritt in der Inselwerdung bzw. -sicherung bedeuten. Der entzogene Sand findet - soweit er nicht sehr nährstoffarm ist - wenigstens teilweise spätestens im nächsten Frühjahr bei den bestehenden Akkumulationsgebilden Verwendung: Seine Festlegung erfolgt hauptsäch-

lich im Gebiet der jüngsten und verhältnismäßig jungen Dünen, also im Bereich der Randdünen und den sich diesen, grob gesagt, in Richtung Dorf anschließenden Bildungen, denn im Gegensatz zum alten Dünengebiet treten hier vornehmlich solche Pflanzenarten auf, die den herangeführten Sand erneut festlegen können.

Die vom Umstand der Vegetationspause abhängende Verringerung der morphologischen Bedeutung der Wintermonate ist allerdings nicht so umfangreich, daß die oben ausgewiesenenen Bedeutungsanteile hinsichtlich ihrer Größe grundlegend geändert oder gar neu angegeben werden müßten. Der Aufhöhungsprozeß geht nämlich trotz der Passivität der Pflanzen zumindest in den für die Inselentwicklung wichtigsten Gebieten beschränkt weiter. Da die Pflanzen den im Herbst gefangenen Sand einigermaßen endgültig festhalten und sogar das Material, das während der Vegetationspause angeweht wird, bis zum Beginn seiner Festlegung im Frühjahr teilweise vor der weiteren Verfrachtung bewahren, müßte die Passivität eigentlich als das Gegenteil angesprochen werden.

Die Vorgänge in den besagten wichtigsten Gebieten stellen sich so dar:

> Die jungen Akkumulationsgebilde vor dem NO-Rand des Dünengebietes im Zentrum Spiekeroogs sowie die jungen, ebenfalls pflanzenbedingten Anhäufungsformen im östlichen Teil der Plate und auf dem oberen trockenen Strand vor den Süderdünen weisen - wie Beobachtungen während der Winter 1969/70 und 1970/71 wiederholt ergaben - nämlich eine günstige Materialbilanz auf. Die Sandmenge, die in diesem Zeitraum direkt vom nassen Strand oder von sich auflösenden bzw. umformenden Gebilden ohne Pflanzenbeteiligung im Bereich des trockenen Strandes angeweht wird, ist durchweg größer als jene, die sie selber einbüßen. Das bedeutet: Die positive Inselentwicklung findet hier - zumindest was kleine Aufhöhungserscheinungen betrifft - nicht ausschließlich während des Sommerhalbjahres statt.

Am günstigsten schneiden der Februar sowie die Monate März und April ab. Der Niederschlag dieses Zeitraumes bleibt ganz erheblich hinter dem Mittel aller Monate zurück. Viel weniger als sonst werden daher der Materialtransport und die Folgevorgänge eingeschränkt. Außerdem geben in diesem Teil des Jahres die östlichen Winde, die ja im ganzen zwar nicht sehr schubstark, jedoch - weil sie verhältnismäßig lange unterbrechungsfrei auftreten - morphologisch ziemlich bedeutsam sind, in Bezug auf die Bildung und Ausweitungsformen den Ton an.

Während diese Winde in Ostfriesland stellenweise gefürchtet werden, weil sie häufig

a. Sandverwehungen verursachen, die der Landwirtschaft erheblichen Schaden bringen, und
b. zu einer vorübergehenden Einstellung der Schiffsverbindungen zu den Inseln führen können, wenn sie tagelang extrem niedrige Hochwasserstände und infolgedessen im Februar oft keinen Abtransport der Eisschollen aus den Hafenausfahrten bedingen,

sind sie in Hinblick auf den Prozeß der Inselwerdung und -sicherung positiv einzuschätzen: Sie sorgen besonders für die rasche Ausweitung des NO-Dünengebietes des alten Inselteils. Einerseits transportieren sie Material vom Strand der Ostplate heran, und andererseits führen sie je-

nen Sand, der von westlichen Winden auf dem mittleren bis östlichen Nordstrand als instabile Bildungen bereitgestellt wird, den platenwärtigen Randdünen und Vordünengruppen zu. Damit leiten sie - zumal die Vegetationsperiode gerade beginnt - seine weitgehende Festlegung ein.

Unter Berücksichtigung der aufgeführten Punkte kann die obige Frage, ob die tatsächliche morphologische Bedeutung der Windverhältnisse in den einzelnen Monaten nach n . Mv richtig angegeben wird, zusammengefaßt folgendermaßen beantwortet werden:

Temperatur, Sonnenscheindauer, Bewölkungsdichte und Niederschlag verändern den Einwirkungsgrad, den der Wind in den verschiedenen Abschnitten des Jahres hat, nicht erheblich. Das oben gezeichnete Bild ist also zutreffend. Einer kleinen Korrektur bedarf es nur hinsichtlich der Wintermonate außer Februar. Die Bedeutung ihrer Winde für den Sandtransport und damit für die Vorgänge der allgemeinen positiven Entwicklung von Insel und Ostplate ist nicht ganz so groß, wie es die Darstellung glauben macht. Umgekehrt verfügen die Sommermonate sehr wahrscheinlich über eine etwas zu niedrig angegebene Bedeutung; in diesem Fall ist die Abweichung von den tatsächlichen Gegebenheiten aber noch geringer als in den Wintermonaten.

3

DIE ENTWICKLUNG DER OSTPLATE ZUR "STRAND-" UND "DÜNENINSEL"

3.1 Die Bildung der "Strandinsel Ostplate"

3.1.1 Das Entstehungsgebiet am Ausgang des Mittelalters

Vom spätmittelalterlichen Aussehen des Seegats zwischen Spiekeroog und Wangeroog lassen sich - wie von dem der anderen Gats - nur vage Vorstellungen gewinnen. Da zu seinem Flutspeicherraum die Harlebucht gehört, muß es eine größere Wassermenge passieren lassen als jemals später. Gegen Ende des 14. Jahrhunderts erreicht die Öffnung vermutlich ihre maximale Gestalt. Das entspricht zeitlich der größten Ausweitung der Bucht als Folge der Katastrophenfluten jenes Jahrhunderts, die den Höhepunkt des O_3-Vorstoßes der Nordsee (SINDOWSKI, 1962) anzeigen.

Als im 15. Jahrhundert die tiefreichendsten Einbrüche weitgehend geschlossen werden (Deichverlauf um 1500: von Addenhausen über Werdumer Altendeich und Funnixhorn nach Funnixer Kleineriege; bis zum Steenscharer Siel und bis Greehörn-Middoge. HOMEIER, 1969) bilden sich das Harlesystem und damit der Flutspeicher sowie das Gat etwas zurück. Wie die spätmittelalterliche Gatrückbildung im einzelnen jedoch abläuft, in welchem Umfang es zu einer vertikalen und horizontalen Umgestaltung kommt, kann nicht geklärt werden.

Von der Gesamtgestalt des Raumes darf dagegen mit Sicherheit angenommen werden: Spiekeroog und Wangeroog befinden sich insgesamt weiter westnordwestlich, und der Abstand zwischen den Inseln und dem Festland ist daher größer als später. Aber beispielsweise die Lage des Spiekerooger Westkopfes und des südlichen Inselrandes um 1500 gegenüber heute genauer als + 2 bis + 2,5 km WNW bzw. + 1 bis + 1,5 km WNW angeben zu wollen, bleibt fragwürdig.

Erst frühestens vom Anfang des 16. Jahrhunderts an sind zunehmend Aussagen mit Anspruch auf Gültigkeit möglich, denn von nun an liegen Segelanweisungen und Karten des ostfriesischen Küstengebietes (LANG, 1962) vor, die zumindest teilweise den zeitgenössischen Zustand einigermaßen verläßlich angeben.

3.1.2 Die Bildung der frühen Sockelplate

(= Der Entwicklungszustand in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts, Abb. 58)

Das Aussehen des Raumes wird durch das breitangelegte, zweiarmige Harle-Rinnensystem bestimmt. Das System der Otzumer Balje ist wesentlich kleiner ausgebildet; wegen der noch geringen Länge Spiekeroogs (W-O-Erstreckung: etwa 5 km) verfügt es über einen unbedeutenderen Einzugsraum. Das Wattengebiet unmittelbar zwischen den Inseln fällt am meisten ins Auge, weil sich seine Gestalt erheblich von der heutigen unterscheidet. Da in ihm ein Entwicklungszustand vorliegt, der bei der Frage nach der Sockelbildung der Ostplate von großer Bedeutung ist, soll hier der Schwerpunkt der Betrachtung liegen.

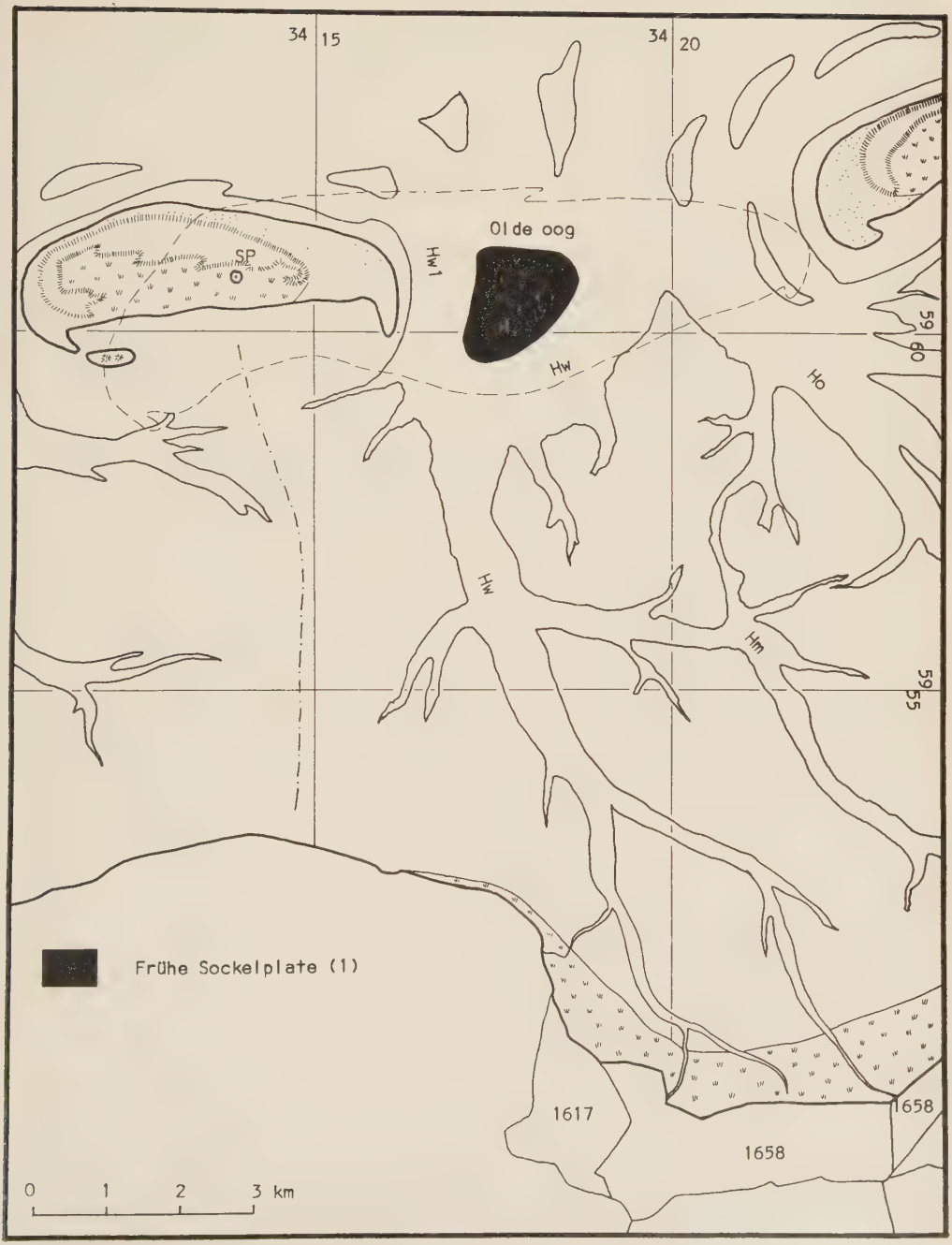


Abb. 58: Zustand des Ostplate-Sockels um 1650

3.1.2.i Zustand der Öffnung zwischen Spiekeroog und Wangeroog

Die Öffnung zwischen den Inseln tritt als scheinbar sehr ausgeprägte Passage in Erscheinung. Anhand

1. der FALKEschen Vermessung der Entfernung zwischen Spiekeroog und Wangeroog (1664) und

2. der bekannten Karte von HONART zur Darstellung der Hoheitsgrenze zwischen Jeverland und Ostfriesland ("Goldene Linie", 1667; Abb. 68 s. u.!)

ist in Höhe von MThw eine Breite von über 6 km zu ermitteln. Dieses Ausmaß erscheint gewaltig, wenn man bedenkt, daß heute die größte Öffnung (Norderneyer Seegat) nur ungefähr 4 km mißt und der Abstand zwischen Spiekeroog und Wangeroos etwa 2,6 km beträgt.

Es stellt sich zunächst die Frage, ob tatsächlich ständig ein so großer Wasserumsatz zwischen See und Watt erfolgt sein kann, wie es die Breite suggeriert. Sie ist zu verneinen. Für eine Wassermenge, die eine solche Öffnung rechtfertigt, fehlt der Speicherraum, selbst wenn man berücksichtigt, daß

a. Spiekeroog und Wangeroog im ganzen etwas weiter seewärts liegen und

b. die Wasserscheide zum Watt der Otzumer Balje wegen der noch geringen Länge Spiekeroogs mehr westlich verläuft.

c. Auch die Harlebucht trägt nicht zur Rechtfertigung bei: Sie ist zu diesem Zeitpunkt bereits bis zur Linie Altharlingersiel-Neufunnixsiel-Neugarmssiel geschlossen (jüngste Eindeichungen: Garmser Grode, 1638; Enno-Ludwigs-Grode und Kleiner Groden, 1658; Landgewinn seit 1500: etwa 43 qkm. HOMEIER, 1969). - Da weitere Abschnitte unmittelbar vor der Eindeichung stehen und deshalb bereits weitgehend aufgehöht bzw. in Verlandung begriffen sind, spielt die Bucht als Teil des Flutspeichers nur noch eine untergeordnete Rolle. Ihr Anteil macht höchstens 15 bis 20 % aus.

Nun könnte eingewandt werden: Wie oben bewiesen wurde, ist es nicht zulässig, zwischen dem Fassungsvermögen des Watts und der Gatbreite bei MThw eine Beziehung herzustellen; nur der Gatquerschnitt (GQm = Mittel aus Querschnitt MThw und Querschnitt MSpTnw) steht in gesetzmäßiger Abhängigkeit zum Flutspeicher!

Würde man tatsächlich so verfahren und den Harle-GQm-Wert+) zu Rückschlüssen auf die Wattgröße benutzen, erbrächte gerade das ein wich-

---

+)
Er wird auf dem Umweg über den Vergleich mit den Maßen beispielsweise der heutigen Otzumer Balje kombinatorisch erschlossen:

Otzumer Balje:	GQm zu Breite = ca. 4 zu 1
Harle daher:	GQm = ca. 24 qkm

tiges Argument dafür, daß die enorme Breite völlig falsche Vorstellungen vom Umfang des Wasseraustausches vermittelt: Es ergäbe sich bei einer MThw-Breite von 6 km nämlich ein mittlerer Gatquerschnitt von ungefähr 24 qkm. Dieser würde freilich einen Flutspeicher von fast der doppelten Größe des Norderneyer Seegat-Speichers bedingen. Ein derartiger Speicher ist aber aufgrund des vorgegebenen Abstandes zwischen Inselkette und Festland im Bereich des Harlesystems unmöglich.

Welcher Schluß muß aus dem Umstand gezogen werden, daß in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts zwischen Spiekeroog und Wangeroog zwar ein ungewöhnlich großer Abstand besteht, aber kein entsprechend ausgeprägter Durchfluß stattfindet?

Die Öffnung ist nicht als ein der Breite angepaßtes, tief ausgeformtes Gat ausgebildet. Es handelt sich vielmehr um eine Passage, die in weiten Abschnitten so seicht ist, daß sie bis zur MThw-Linie und noch darüber hinaus reicht. Im Gegensatz zum heutigen Harlegat und zu den anderen Gats dient der Raum zwischen beiden Inseln zu diesem Zeitraum also nicht in ganzer Breite dem regelmäßigen Wasseraustausch. Nur ein Teil erfüllt diese Aufgabe und verfügt über die für ein Gat in Bezug auf Form und Funktion charakteristischen Eigenschaften.

Die aufragenden Abschnitte sind nicht als Riffe anzusehen, die sich in der Passage bilden und durch die Öffnung hindurch gegen den NW-Strand von Wangeroog wandern, wie etwa die Mittelplate der Otzumer Balje und die von ihr ausgehenden Riffe. Sie können auch nicht als Glieder des Riffbogens zwischen Spiekeroog und Wangeroog angesprochen werden; dazu liegen sie viel zu weit südlich. Sie stellen vielmehr Aufschüttungen von Teilen jenes Sandes dar, der in strand- und inselparallelem Versatz ostwärts bewegt wird. Er wandert nicht weiter, weil die auslaufenden Wassermassen hier durchweg zu schwach sind, um ihn in den Bereich des Versatzes zurückzuführen. Der Form nach sind die aufragenden Stellen als große, rückenartige Bildungen von ziemlicher Lagestabilität anzusprechen, ähnlich den weitflächigen sandigen Bänken im Watt (z. B. Jans Sand im heutigen Watt der Otzumer Balje, Evers Plate und Martens Plate im heutigen Watt der Harle). Näheres im Abschnitt über die Platenbildung (3.1.2.3)!

3.1.2.2 Die Lage und Bedeutung der frühen Sockelplate

Die Zahl der Platen - so sollen die aufragenden Stellen zunächst bezeichnet werden - und vor allem ihre Lage zu den beiden Inseln sowie der Verlauf der gatartigen Passage können erschlossen werden

a. anhand von zeitgenössischen und etwas älteren Karten, Küstendarstellungen und Segelanweisungen des ostfriesischen Raumes und

b. über die Ausbildung des Harlesystems besonders wie es auf der erwähnten HONARTschen Karte angegeben ist.

Beides hat unter Beachtung der hydrodynamischen Gesetzmäßigkeiten des Insel-Watt-Raumes zu geschehen.

zu a. Die Karten sind nicht nur ein sehr guter Beweis dafür, daß Platen in der beschriebenen Form zwischen Spiekeroog und Wangeroog tatsächlich bestehen und daß zumindest eine Plate bzw. ein Platenkomplex über MThw hinausragt. Sie geben teilweise auch ziemlich genau an, wo zwischen den Inseln dieser Komplex liegt.

In allen Fällen wird er als inselartiges Gebilde aufgefaßt, denn er ist nicht - wie etwa hohe Watrücken - als Untiefe gekennzeichnet, sondern der kartographischen Behandlung der Inseln (z. B. Umrißgestaltung, Farbe, Straffur) in der Regel völlig gleichgesetzt. Auf seine Bedeutung als besonderer Teil des Gats, ja der ganzen Inselkette, weist auch die namentliche Kennzeichnung als "oog" (= Insel, also: mehr als Riff oder Sandbank!) hin. Wie einige andere Angaben zum Karteninhalt leidet die Benennung unter dem Umstand, daß manche Verfasser über ungenaue Ortskenntnisse verfügen oder zeitgenössische bzw. ältere Karten schlecht kopiert haben. Auf ein paar Karten wird sogar nur das Gebilde benannt; die Nachbarinseln bleiben namenlos.

Folgende Bezeichnungen treten u. a. auf:

oldeoch	ANTHONISZ, 1543/60 (Abb. 59)
olde com	ORTELIUS, 1568 (Abb. 60)
Aldeoch	MICHAELIS, 1579 (Abb. 61)
Oeg	EMMIUS, 1595 (Abb. 63)
og insula	MUSCULUS, 1630/49 (Abb. 64)
Oog	JANSSONIUS, 1634
Oldeoog	MÜNTINCK, 1645

Mit unterschiedlichen Bezeichnungen wird die "oog" auch in den Kartenbeschreibungen, in Segelhandbüchern, Vertoonungen und Vertoonungstexten angeführt, z. B.:

ANTHONISZ, 1557
GERRITSZ, 1575/88
HAEYEN, 1585/1613
WAGHENAER, 1592
BLAEU, 1608
JANSSONIUS, 1657

Was rechtfertigt die Aufnahme der "oog" in die Karten usw., worauf beruht ihre Bedeutung? - In der breiten Öffnung zwischen Spiekeroog und Wangeroog ist eine Plate stark emporgewachsen, hat eine so typische Silhouette und ist - was besonders schwer wiegt - so lagestabil, daß sie als Landmarke fungieren kann.

Da sich die "oog" auf einigen der Karten, z. B.:

ORTELIUS, 1568 (Abb. 60)
MICHAELIS, 1579 (Abb. 61)
MERCATOR, 1585 (Abb. 62)
EMMIUS, 1595 (Abb. 63)

und nach manchen Beschreibungen, Segelanweisungen und Vertoonungen, z. B.:

ANTHONISZ, 1557
GERRITSZ, 1575/88
HAEYEN, 1585/1613
WAGHENAER, 1592
BLAEU, 1608
EMMIUS, 1616
JANSSONIUS, 1657
(weitere Quellen bei LANG, 1958)

sehr nahe an Spiekeroog befindet und teilweise der Gatname Harle o. ä. östlich davon steht, ist zu vermuten, was markiert werden soll:

1. als Fahrwasser kommt nur die Passage im östlichen Teil der Öffnung (= zwischen der "oog" und Wangeroog) in Frage,

2. die Rinne im westlichen Teil (= zwischen Spiekeroog und der "oog") ist dagegen infolge von Untiefen nicht befahrbar.

Selbst wenn diese Interpretation nicht ganz gerechtfertigt wäre und auch der Umstand bedacht wird, daß in den Angaben zur Größe erhebliche Abweichungen vorliegen und einige Karten zurückzudatieren sind, bleibt doch eins sehr bedeutsam: in seefahrttechnischer Hinsicht weist das Watt zwischen Spiekeroog und Wangeroog im allgemeinen und in seinem westlichen Teil im besonderen einen unsicheren Zustand auf. Diese Unsicherheit resultiert freilich nicht aus Riffbewegungen, wie sie für die Ausmündungsbereiche der Gats normal sind und daher auch nicht kartographisch angegeben werden müssen, sondern spiegelt langfristige, weiträumliche Veränderungen vor allem mit starker vertikaler Komponente wider.

zu b. In Hinblick auf die Ausrichtung des Harlesystems und die Zahl der Rinnen, die normalerweise den Wasseraustausch zwischen den Inseln durchführen, sind die genannten Karten durchweg nicht ergiebig. Wie gezeigt, ist ihnen zwar teilweise zu entnehmen, daß der Hauptmündungstrichter der Harle zwischen dem Untiefengebiet östlich von Spiekeroog liegt und daß im W davon ein Durchlaß besteht; wie das Watt gestaltet ist, bleibt aber offen. Die HONARTsche Karte liefert dagegen wichtige Einzelheiten.

Sie zeigt die eingangs erwähnten beiden Arme des Systems. Die westliche Hauptrinne Hw[+)] (NNW-SSO-Verlauf) stellt die Verbindung zu den südlichen Teilen des Wattes bis in den noch uneingedeichten Abschnitt der Harlebucht her; die östliche Hauptrinne Ho (NW-SO-Verlauf) geht ins Watt südlich von Wangeroog. Beide treffen im mittleren bis östlichen Bereich der Öffnung zwischen den Inseln zusammen, um dann als eigentliches Seegat Harle in einer Breite von vielleicht 3 km auszumünden.

Vor dem Zusammentreffen vollzieht die Rinne Hw unmittelbar südöstlich von Spiekeroog einen deutlichen Schwenk auf N. Dieses Umschwenken be-

+) b. w.!

weist: Die Wattpartien im SO der Insel und die inselnächsten Teile der Gatöffnung, wo auf den betrachteten Karten die "oog" zu lokalisieren war, sind bereits so weit in Gestalt eines Platenkomplexes aufgehöht, daß sie richtungsändernd auf den seeseitigen Abschnitt des Rinnensystems einwirken. In Höhe von MThw mag seine meerseitige Breite gut 1,2 km betragen; seine größte N-S-Erstreckung macht etwa 1,5 km aus.

Zwar geht eine Nebenrinne (Hw1) an der Stelle des stärksten Umschwenkens der Hw in Richtung N durch das Platengebiet. Sie scheint aber unbedeutend zu sein; dafür spricht, daß sie - im Gegensatz zu allen übrigen Rinnen - weder benannt noch in Breite und Ausrichtung genau festgelegt ist. Es handelt sich bei ihr wohl um jene Öffnung, die auf den Karten als untiefer Durchlaß zwischen Spiekeroog und der "oog" gemeint ist.

+)

Da erstens in den Quellen der Name Harle für die eine oder andere Rinne bzw. sogar nur für einen Nebenarm gebraucht wird und zweitens in späterer Zeit Namensübertragungen stattfinden (wobei durchweg jeweils nur die dem Gat nächste Balje diesen Namen erhält und die früheren Träger teilweise willkürlich und oft zu Unrecht als Uralte Harle, Alte Harle oder völlig neu bezeichnet werden), findet hier folgende Kennzeichnung Anwendung:

Der westliche Hauptarm um 1650 wird als Hw, seine wichtige westliche Nebenrinne als Hw1 und der östliche Hauptarm als Ho bezeichnet. Der später zwischen ihnen sich entwickelnde, zeitweilig bedeutsame dritte Arm heißt Hm. Die Bezeichnung wird fortlaufend für die jeweilige Rinne beibehalten. Nur so lassen sich ihre Verlagerung und Bedeutungsänderung über die Zeitläufte hinweg verfolgen.

Aurich
Sterkshus
Appen
Dockum
Collum
DRENT
Wijshus
Twdt
LESEMER LANDT
YEVER LANDT
FRISIA ORIEN
RADER LANDT
OVERLENGER LANDT

Abb. 59

GERMANICI PARS.
Twdt
LESEMER LANDT
YEVER LANDT
FRISIA ORIEN
RADER LANDT
OVERLENGER LANDT

Abb. 60

Abb. 59: ANTHONISZ, C. - Caerte van oostlant (1543/60)

Abb. 60: ORTELIUS, A. - Oost ende West Vrieslands Beschryvinghe (1568)

Abb. 61

Abb. 62

Abb. 61: MICHAELIS, L. - Frisiae orientalis nova et exacata description (1579)

Abb. 62: MERCATOR, G. - Emden et Oldenburg comitatus (1585)

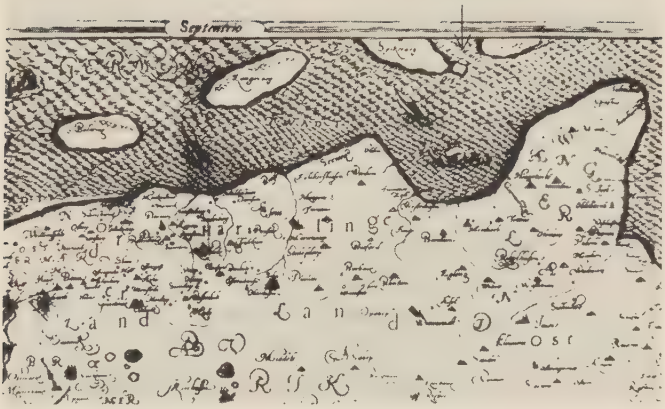


Abb. 63

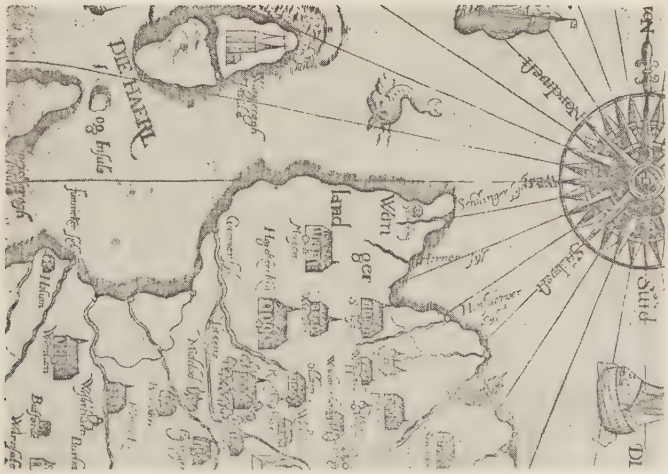


Abb. 64

Abb. 63: EMMIUS, U. - Typus Frisiae Orientalis (1595)

Abb. 64: MUSCULUS, J. - Nova comitatus Oldenburg ac Delmenhorst cum dynastiis Jeveren. et Knyphaus. descripitio (1630/49)

3.1.2.3 Zur Platenbildung

3.1.2.3.1 Voraussetzungen

Bei dem Ausmaß, das der Platenkomplex insgesamt aufweist, ist seine Bildung nicht als kurzfristiger Vorgang zu verstehen: Sie resultiert aus einer langen Entwicklung, an deren Beginn die oben angedeutete Rückbildung des Harlesystems als Folge bzw. im Zusammenspiel mit der spätmittelalterlichen Verkleinerung der Harlebucht steht. Mit dem Harlesystem verliert die Öffnung zwischen Spiekeroog und Wangeroog als breite, tiefausgeräumte Passage an Bedeutung: Sie tritt in einen langwierigen Veränderungsprozeß, der vor allem ihre Tiefe betrifft.

Da die Rinnen des Harlesystems - wie bekanntlich alle Gatsysteme - ihre Anlage und Gestalt primär der Ebbeströmung verdanken, folgert aus einer Rückbildung des Systems: diese Strömung büßt einen Teil ihres Einflusses ein. Wo sich also Aufhöhungsvorgänge im Watt oder am Wattrand einstellen sollen, muß sich der Wirkungsgrad des ablaufenden Wassers verringern. Dieser Fall tritt im Zusammenhang mit der Verkleinerung der Harlebucht ein.

Für die Entflutung der Bucht bzw. des noch offenen Buchtbereichs ist in erster Linie der westliche Teil des Harlesystems (Hw) verantwortlich, denn er stellt die direkteste Verbindung zwischen dem südlichen Wattraum einschließlich der Bucht und dem Meer dar. Und gerade auf direkten Abfluß ist das Verhalten des Ebbewassers ja in der Regel angelegt. In dem Maße wie die Gesamtmenge des abfließenden Wassers infolge der Buchtverkleinerung abnimmt, bildet sich nun also die Hw zurück.

Der westliche Wattenteil vor der Wasserscheide zum WTo der Otzumer Balje verkleinert sich von W her; die Wasserscheide verlagert sich in gleichem Umfang ostwärts. Welches Außmaß die Verlagerung bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts annimmt, ist nicht zu sagen. Die Lage des festlandsnahen Ausläufers der Scheide darf jedoch zu diesem Zeitpunkt ungefähr in Höhe des heutigen Neuharlingersiels angenommen werden.

Nach den oben aufgezeigten Gesetzmäßigkeiten muß sich die Vergrößerung des Flutspeichers der Otzumer Balje auf deren Breite, Rinnenausrichtung und Bogenweite auswirken:

a. Die Breite ist mit ungefähr 3 km erheblich umfangreicher als heute (= 2,4 km) und das, obwohl der Flutspeicher - trotz der eingetretenen Vergrößerung - wesentlich kleiner ist (um 1650: im Mittel vielleicht 8 km W-O-Erstreckung). Aufgrund der Erfahrung mit dem Gat zwischen Spiekeroog und Wangeroog darf daraus geschlossen werden: Die Tiefe, besser gesagt: der mittlere Gatquerschnitt, bleibt deutlich hinter dem heutigen zurück. Die Speichervergrößerung verkleinert die Differenz nur etwas.

b. Die Rinne mag sich von NzO leicht auf N drehen; das Größenverhältnis zwischen WTo und WTw, das bis jetzt wahrscheinlich wegen des geringen Ausmaßes Spiekeroogs ausgeglichen ist, ändert sich zugunsten des WTo. Die Form des Riffbogens wird daher deutlicher auf den Typ I festgelegt.

c. Die Bogenweite nimmt zu, so daß die Zone der Materialanlandung auf dem Spiekerooger Nordstrand ein wenig ostwärts vorrückt, - wie weit ist nicht zu sagen. Unklar bleibt auch die genaue Lage. Sie dürfte aber mit einem Abstand von 2,4 bzw. 4,0 km (= westlicher bzw. östlicher Rand der Anlandungszone) zur gedachten nordwärtigen Verlängerung der Gatrinne als ungefähr zutreffend angenommen werden. Da der ankommende Sand nun nicht mehr vornehmlich für den bisherigen Nordstrand und das südlich bestehende alte Dünengelände verbraucht werden kann, fördert die Verlagerung das Ostwachstum der Insel und die Entwicklung des Raumes im Anschluß daran. Es wird damit von NW her auf jenes Gebiet eingewirkt, das von den Folgen der Rückbildung der Hw am meisten betroffen ist:

Der Wattenraum im SO von Spiekeroog und im anschließenden westlichen Teil der Öffnung zwischen den Inseln gerät durch die Rückbildung des Systems verstärkt in den aufbauenden Einfluß der auflandigen Strömungen, die ihren Weg vor allem um den NO-Rand Spiekeroogs herum nehmen. Da diese gerade hier - in unmittelbarer Nachbarschaft der Anlandungszone bzw. der insel- und strandparallelen Sandverfrachtung - sehr materialreich sind, stellen sich rasch Versandungsvorgänge ein. In ihrer Folge höht sich das Gebiet - vereinfacht ausgedrückt - allmählich mehr oder weniger gleichmäßig auf. Nur wo die Einwirkung der Ebbeströmungen erhalten bleibt (Hw1), sind diesen Vorgängen Grenzen gesetzt.

Die mittleren bis östlichen Teile der Passage zwischen den Inseln und ihr wattseitiges Vorfeld werden weiter in gewohntem Maße fast nur allein vom Ebbestrom bestimmt, weil sich der östliche Systemteil (Ho) nicht wesentlich verändert. Seine Einflußbreite mag zusammen mit der des rückgängigen westlichen Teils um 1650 insgesamt ungefähr 15 km (von Wasserscheide zu Wasserscheide im mittleren Watt) betragen.

3.1.2.3.2 Die Anlage und Entwicklung der Platen

Die eigentliche Platenbildung ist vermutlich so erfolgt: Der Querschnitt des Flutstromweges wird nur noch in den tiefen Rinnen verstärkt eingeengt, die einströmenden Wassermassen also nur hier wesentlich beschleunigt. Außerhalb davon, auf den zungenartigen, weit meerwärts vorgeschobenen und leicht geneigten Wattpartien, breiten sie sich langsamer aus. Infolgedessen erlahmt ihr Transportvermögen dort schneller, und es kommt zum Materialniederschlag. Die Sedimentationszonen, die sich später vereinigen können, liegen somit noch im Bereich der westlichen Öffnung bzw. in ihrem Vorfeld und keineswegs so weit wattwärts wie jene, die im Anschluß an die tiefen Rinnen entstehen.

Da die Sedimentation - infolge der exponierten Lage des Entstehungsgebietes - beträchtlichen Umfang erreicht, schreitet die Aufhöhung der Zone bei gleichzeitigem Breitenwachstum schnell voran, um dann verstärkt Brandung entstehen zu lassen. Die Aufhöhung erfolgt vor allem auf den der Strömung am deutlichsten zugekehrten Seiten und stellt sich vornehmlich bei halber Flut ein, denn dann ist der Materialtransport auch außerhalb der Rinnen am ausgeprägtesten (MUNGENAS, 1934). Ist eine Gesamthöhe um MThw erreicht, läßt das Höhenwachstum rasch nach; aber auch die Ausweitung leewärts geht zurück: Es wird kaum noch Material in Richtung Watt abgegeben.

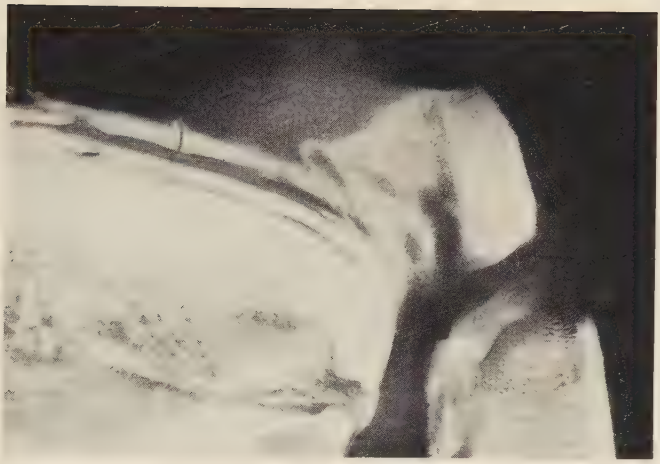


Abb. 65

Abb. 66

Abb. 65: Beginn des Harle-Riffbogens im N des östlichen Platenendes (1960, Niedrigwasser)

Im Seegat ONO des Platenendes: gatseitigster Abschnitt der Wangerooger Buhne H
Im SO zwischen Muschelbalje und Harle: Martensplate

Abb. 66: Stauzone im Vorstrand- und Strandbereich der Platen-Ostspitze: Beginn des Harle-Riffbogens (Blick NO, Niedrigwasser)

Zwar kann sich auch bei durchschnittlichen Fluten die vertikale Entwicklung und damit das Gesamtwachstum fortsetzen, weil - im Gegensatz zu schlickigen Gebieten (MThw-Linie = obere Grenze der Sedimentation) - der Sand der trockengefallenen Platenränder vom Wind punktuell oder weitflächig aufgeweht wird. Wie die Verhältnisse auf der äußersten Ostspitze der heutigen Ostplate zeigen, geht diese Art der Aufhöhung aber über ein bestimmtes Maß nicht hinaus.

Für umfangreiches Wachstum über MThw kommt ausschließlich das brandende Wasser überdurchschnittlich hoher Fluten in Frage. Die Entwicklung schreitet von nun an also nur noch episodisch fort. Die Brandung befördert größere Sandmengen als normal auflaufendes Wasser in Riffgestalt die seeseitigen Hänge hinauf und legt einen mehr oder weniger stabilen Strandwall an. Darüber hinaus gelangt auch Material auf die wattwärtigen Platenteile; sie nehmen dadurch wieder am Höhen- und Breitenwachstum teil. Die Abgabe bleibt aber immer hinter der Zufuhr zurück, so daß die seeseitigen Abschnitte nicht zum Zehrgebiet werden.

Der Aufhöhungs- und besonders der Ausweitungsprozeß gehen jedoch selbst unter diesen Bedingungen nicht uneingeschränkt weiter. Von einem bestimmten Punkt an ergibt sich - von den verbliebenen, in der Breite beeinträchtigten Ebbestromrinnen ausgehend - eine Gegenwirkung. Sie drückt sich vornehmlich in seitlicher Abrasion aus. Das geschieht gewöhnlich bei Flutständen weit über Normal. Da aber in solchen Fällen ja auch die Sedimentation grundsätzlich erheblich ist und da die Rückbildung der besagten Rinnen durch das rückläufige Wattverhalten vorbestimmt ist, dominieren auf lange Sicht doch die aufbauenden Kräfte: Die positive Platenentwicklung schreitet zwar langsam, aber stetig voran.

In welchem Umfang neben dem Sand schon jetzt schlickiges Material abgesetzt wird, ist schwer zu sagen. Wenn überhaupt, stellt es sich auf den seefernen Platenteilen ein, wo die deutlichste Wasserberuhigung eintritt. Aber auch hier dürfte der Sand weiterhin vorherrschen; er wird von den überdurchschnittlichen Fluten herangeführt sowie in der Ebbephase vom Wind eingeweht.

Auf eine wichtige Erscheinung bei fortschreitender Entwicklung ist noch hinzuweisen: Wenn die Ausweitung des Platenbereichs so weit gediehen ist, daß sein seeseitiger Rand ungefähr auf gleicher Breite mit dem Spiekerooger Nord- oder Nordoststrand liegt, verhält er sich dem insel- und strandparallel ostwärts setzenden Wandermaterial gegenüber ebenso wie der Inselstrand: Jener Teil des Materials, der sich nicht zum weiteren Aufbau der Insel oder der Platen bzw. der noch offenen Rinnen zwischen ihnen niederschlägt, sammelt sich im Luv der NW-Ecke des Platenbereichs. Erst von dort umgeht er in der bekannten Weise als Riffbogen die Gatmündung. Der jetzige bzw. - in Zukunft - der jeweils gatnächste Platenkomplex übernimmt also die Funktion des nordöstlichen Vorstrandes der Insel; er gibt den Bogenbeginn an (Abb. 65 und 66).

Auf diesen Vorgang und damit auf den fortgeschrittenen Aufhöhungszustand östlich bis südöstlich von Spiekeroog macht - unbeabsichtigt? - HONART (1667, Abb. 68) aufmerksam: Auf seiner Karte liegt eine Riffgruppe unmittelbar westlich jener Stelle, wo die vereinigten Rinnen Hw und Ho die Gatpassage erreichen. Ihre einzelnen Glieder richten sich N-S aus. Weitere Riffe sind nördlich

der Gatmündung angegeben. Die meisten liegen nordwestlich von Wangeroog und sind so ausgerichtet, daß sich ihre Längsachsen dem Strandverlauf anpassen. HOMART hat somit den Beginn des Riffbogens ostwärts von Spiekeroog zwischen die Inseln gelegt.

Im obigen Abschnitt über den Zustand des Insel-Watt-Raumes konnte die Frage nicht beantwortet werden, ob es sich bei der Rückbildung der Öffnung zwischen Spiekeroog und Wangeroog - im Zusammenhang mit der beginnenden Verkleinerung der Harlebucht und der Wirkungsminderung des Harlesystems - um eine horizontale oder vertikale Veränderung handelt. Anhand ihres Zustandes in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts ist zusammenfassend festzustellen:

Die vertikale Komponente überwiegt, und zwar in erster Linie im westlichen Teil der Öffnung einschließlich seines wattseitigen Vorfeldes. Die Platen, die hier unter Einwirkung von Flutstrom und Brandung als Sedimentationsbänke entstehen, sind ihr stärkster Ausdruck. Sie stellen die Sockelteile der späteren westlichen bis mittleren Ostplate dar und werden unter der Bezeichnung frühe Sockelplate zusammengefaßt.

3.1.3 Die Sockelerweiterungsvorgänge und die Bildung der mittleren Sockelplate

(= Der Entwicklungszustand um die Mitte des 18. Jahrhunderts, Abb. 67)

Die Gestalt des gesamten Wattenraumes einschließlich der Inseln hat sich seit Mitte des 17. Jahrhunderts erheblich verändert. Am auffälligsten ist zum einen die weitere Rückbildung des Harlesystems und seines Einwirkungsbereichs bei gleichzeitigem Bedeutungszuwachs des Flutspeichergebietes der Otzumer Balje. Zum anderen tritt die Breitenabnahme der Öffnung zwischen den Inseln als Folge der verstärkten horizontalen und vertikalen Umbildungsvorgänge in ihrem westlichen Teil (einschließlich des östlichen Spiekeroogs) deutlich in Erscheinung.

3.1.3.1 Der Zustand der Harlebucht und des Harlesystems

Auslösender Faktor aller dieser Vorgänge ist wieder die fortschreitende Schließung der Harlebucht. Sie hat seit Ende des 17. Jahrhunderts etwa 17,7 qkm an Fläche verloren: Nach der Eindeichung von Anhaltiner Groden (1675), Stullgroden (1675), Kleiner und Großer Charlottensgrode (1677/79), Sophiengroden (1699), Kleiner Grode (1718), Friederikengroden (1721) und Carolinengrode (1729) verläuft die Deichlinie jetzt nördlich von Altharlingersiel über Carolinensiel und Sophiensiel nach Friederikensiel (HOMEIER, 1969).

Der westliche Teil des Harlesystems (Hw) ist davon am meisten betroffen. Er bildet sich weiter zurück. Das geschieht aus zwei Gründen in noch stärkerem Maße als ungefähr hundert Jahre vorher:

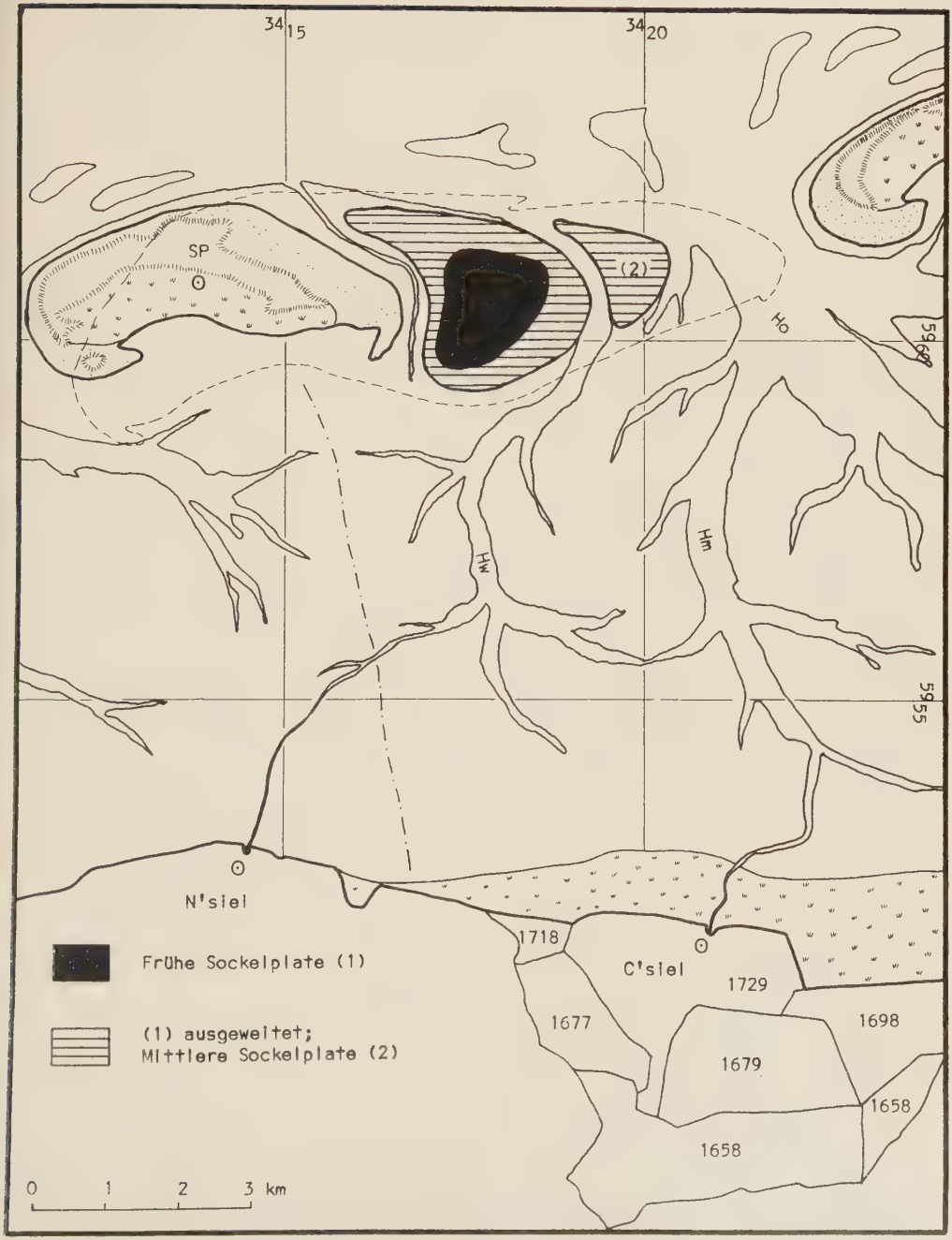


Abb. 67: Zustand des Ostplate-Sockels um die Mitte des 18. Jahrhunderts

a. Wie oben angedeutet, ging zu jenem Zeitpunkt die gesamte Entwässerung des eingedeichten Buchtraumes über den westlichen Systemteil, so daß dessen Ausmaß trotz aller Rückbildung noch in gewissem Umfang von Land her positiv beeinflußt wurde. Inzwischen entwässert der Ostteil der Bucht über das ausgebaute Friederikentief (1721) zum östlichen Arm des Systems (Ho) hin und hält dort die landseitigen Rinnenabschnitte offen. Die Rückbildung wird im W also deutlich weniger verzögert.

b. Die Eindeichung ist im westlichen Buchtteil insgesamt weiter fortgeschritten als im östlichen. Entsprechend stärker höht sich das Vorland auf und verliert an Aufnahmefähigkeit.

Die rückläufige Entwicklung des westlichen Systemteils kommt in folgender neuer Rinnengestalt zum Ausdruck: Die breite, an Nebenarmen reiche Hw, die noch auf der HONARTschen Karte für den WTw allein bestimmend ist und den Namen Harle trägt, bildet sich zu einer viel aufnahmeschwächeren Rinne zurück. Sie ist nicht einmal für den ganzen Westteil der noch offenen Buchtabschnitte zuständig, sondern nur für die nordwestliche Ecke.

Zwischen ihr und dem östlichen Teil des Systems verläuft - gleichsam als zweite Rinne des WTw, aber doch schon auf den östlichen Teil hin orientiert - eine Balje (Hm) nordwärts. Sie ist aber kaum besser ausgebildet als die Hw weiter westlich. Im ganzen gesehen, stellt sie die Verlängerung des Carolinensieler Außentiefs dar und gestaltet unter Land die Wattverhältnisse bis zu den mittleren Teilen der Harlebucht.

Als in Ausrichtung und Größe kaum verändert zeigt sich die Ho, die - wie hundert Jahre früher - für das östliche Watt allein zuständig ist. Sie bestimmt jetzt am meisten die Gestalt des gesamten Harlewatts und auch die Ausrichtung des eigentlichen Gats, denn: Obwohl die beschriebene Hm wahrscheinlich unmittelbar südlich des Gats in sie einmündet, ist diese doch viel zu bedeutungsschwach, um entscheidenden, richtungsbestimmenden Einfluß zu nehmen. Außerdem vereinigt sich die abgeschwächte Hw nicht mehr mit ihr.

Das bedeutet: Der Ebbestrom passiert den Durchlaß zwischen Spiekeroog und Wangeroog zwar immer noch in dessen östlichen Teil; er richtet sich aber nicht mehr nach N, sondern nach NNW aus.

3.1.3.2 Die Auswirkungen auf die Sockelbildung und die Rückwirkungen auf das Harlewatt

Das - neue - Aussehen des gesamten Rinnensystems um die Mitte des 18. Jahrhunderts verdeutlicht, daß der Wattenraum nicht mehr so aufnahmefähig ist wie etwa hundert Jahre vorher oder noch früher. Seine mittlere Gesamtbreite mag nur noch etwa 13 km (Abnahme seit 1650: ungefähr 2 km) betragen. Die Abnahme resultiert allein aus der aufgezeigten negativen Umgestaltung der Rinnen des WTw; er büßt erheblich an Fassungsvermögen ein. Daher schiebt sich die Wasserscheide zum Watt der Otzumer Balje deutlich ostwärts. Sie verläuft nun nordnord-

östlich von Altharlingersiel auf das Festland zu; das bedeutet eine Verlagerung um gut 2 km seit der Mitte des 17. Jahrhunderts.

Die Rückentwicklung des WTw macht sich weniger in dieser Abnahme der W-O-Erstreckung bemerkbar, als vor allem in zunehmender Einengung von NW her. Dort schreiten die Vorgänge der Sockelbildung schnell voran. Zu diesem Zeitpunkt steht nicht mehr das vertikale Wachstum im westlichen Abschnitt der Öffnung zwischen den Inseln bzw. südöstlich von Spiekeroog im Vordergrund. Jetzt tritt die horizontale Komponente verstärkt in Erscheinung. Die frühe Sockelplate dehnt sich folgendermaßen aus:

a. Auf der Wattseite wird ein Gebiet der Plate angeschlossen, das ihren südlichen Rand auf eine Gesamtlänge von etwa 1,5 km wachsen läßt.

b. Nach NW zur Insel hin ist die Ausweitung am größten. Hier bestand zuvor der Einflußbereich jener Rinne (Hw1), die - aus der ursprünglichen Hw abzweigend - die Verbindung zwischen Watt und Meer westlich der "oog" offenhielt.

Die Ausweitung bis zur Insel stellt nun jenen Zustand her, wie er z. B. auf der Karte von MICHAELIS (1579; "Spilkeroch" und "Aldeoch" bilden zusammen eine Insel! - Abb. 61, s. o.!) vorweggenommen wird: das Zusammenwachsen des Sockels von Spiekeroog mit der frühen Sockelplate.

Daß diese Vereinigung zwar tiefgründig stattfindet, im Bereich zwischen MTnw und MThw jedoch noch nicht ganz vollzogen ist, darf vermutet werden. Prielartige Rinnen bestehen noch lange und erlauben beschränkten Wasserversatz in Richtung Watt.

> Ein Beweis für den Zusammenschluß bis auf solche Rinnen ist die Spiekeroog-Skizze "Brouillon von dem Eylande Spikroge" (1738, Abb. 69), die als Entwurf der HORSTschen Karte (1738, Abb. 71) gewertet werden kann. Sie liefert die Darstellung und kurze Beschreibung einer Plate im OSO von Spiekeroog. Diese liegt in unmittelbarer Nähe des Inselrandes und wird nur durch eine prielartige Vertiefung von ihm getrennt. Sie heißt "Alte Oog" und stellt die Folgeform jenes beschriebenen inselhaften Gebildes dar, das hundert und mehr Jahre vorher auf den Karten usw. auftaucht und das frühe Platenwachstum westlich des Harlegats erkennen läßt.
>
> Auch die KOENIGSHAVENsche Karte der Dynastie Jeverland (1740) gibt die Plate (hier als "ooge" bezeichnet) in enger Zugehörigkeit zur Insel an: Sie befindet sich so nahe am SO-Rand und ist auch kartographisch so behandelt, daß sie als mit dem Inselsockel in Verbindung stehend und lediglich durch einen Priel von ihm getrennt verstanden werden soll (Abb. 70).

Nach 1740 tritt die "oog" nicht mehr in Erscheinung, weder namentlich noch als Darstellung. Das ist ein Beweis für nicht nur sehr lokale, vereinzelte Aufhöhung bis hin zu einer markanten Form, sondern für weitflächige vertikale Entwicklung und für das Zusammenwachsen des ausgeweiteten Komplexes der frühen Sockelplate mit der eigentlichen Insel!

c. Die Ausweitungsvorgänge richten sich ostwärts zum Gat hin. Diese Entwicklung spielt sich in verhältnismäßig kurzer Zeit ab, weil hier gleichsam ein Vakuum an abbauenden Strömungen besteht:

1. Die östliche Hauptrinne (Ho) und die mittlere Rinne (Hm) als ihr westlicher Nebenarm sind - wegen der Lage ihrer Einzugsgebiete - auf den Ostteil der Öffnung zwischen den Inseln festgelegt.

2. Die Hw-Rinne mündet weiter ostwärts als früher aus, weil sich ihr Flutspeicher ja nicht nur verkleinert, sondern auch nach O hin verlagert hat. Die Mündung reicht aber nicht bis an das Gat heran; sie dürfte auch keineswegs so ausgeprägt sein wie jene, die zwischen der "oog" und dem Spiekerooger Sockel bestand (Hw1).

Daher können zwischen ihr und dem Gat Aufhöhungsvorgänge ablaufen, d. h. es kann sich eine weitere, östlichere Zone der Sockelplatenbildung einstellen. Das vertikale und horizontale Wachstum ist hier um 1750 bereits teilweise derartig fortgeschritten, daß von Platenbildung auf einer Breite von durchschnittlich 0,8 km (maximale Ausdehnung auf der Seeseite: 1,5 km; größte N-S-Erstreckung: 1,2 km) gesprochen werden darf. Das bedeutet: Die weitere O-gerichtete Schliessung der ursprünglichen Öffnung zwischen den Inseln um dieses Ausmaß steht bevor.

Als Produkt der Bildung kommt die Sockelplate zustande, die später den mittleren bis östlichen Teil der Ostplate trägt. Da sie jünger ist als jene im Bereich der "oog", aber älter als eine andere wichtige Plate, die noch entsteht, soll sie hier als mittlere Sockelplate bezeichnet werden.

Einschließlich dieses bisher jüngsten Platengebietes (ohne die Hw-Mündung) und einschließlich jener Zone unmittelbar vor dem Ostende Spiekeroogs, wo im MThw-Bereich noch die Meer-Watt-Passage (Hw1-Rest) besteht, weist die ganze Sockelzone jetzt eine W-O-Erstreckung von ungefähr 3,5 km auf. Sie hat sich seit der Mitte des 17. Jahrhunderts also um das Doppelte erweitert. Ihre maximale Breite mag gut 2 km betragen. - Berücksichtigt man nur das Ostwachstum Spiekeroogs, so ergibt sich als Gesamtabstand zwischen den Inseln nur noch eine Entfernung von gut 5,5 km. Die negative Beeinflussung des Wangerooger Westkopfes im großen Rahmen setzt noch nicht ein; das Gat ist über 2 km breit.

Welche weiteren, indirekten Folgen ergeben sich diesmal aus der fortschreitenden Rückbildung von Harlebucht und -system?

Diese Veränderungen bedeuten eine erneute Ausweitung des WTo der Otzumer Balje und damit eine Vergrößerung des Gesamtfassungsvermögens ihrer Watten (mittlere W-O-Ausdehnung: gut 9 km gegenüber 8 km um die Mitte des 17. Jahrhunderts). Die Folgen daraus für die ...

Bogenform:

Da der WTw der Otzumer Balje trotz des deutlichen Ostwachstums von Langeoog keine Ausweitung erfährt, die jener des WTo entspricht, ändert

Abb. 68

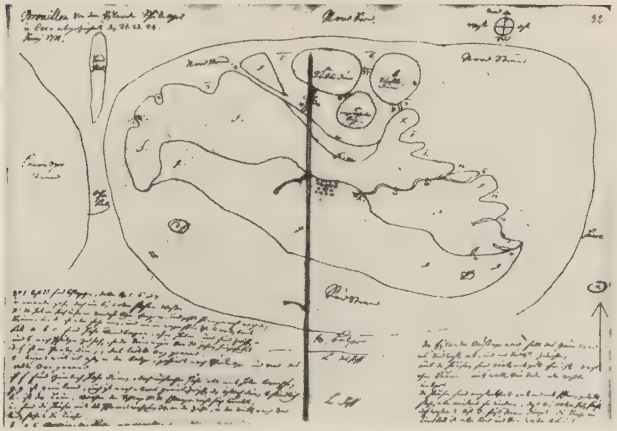


Abb. 69

Abb. 68: HONART - Karte von der "Goldenen Linie", Grenzverhandlungen zwischen Wittmund und Jever (1667)

Abb. 69: ANONYMUS - Brouillon von dem Eylande Spikroge (1738)

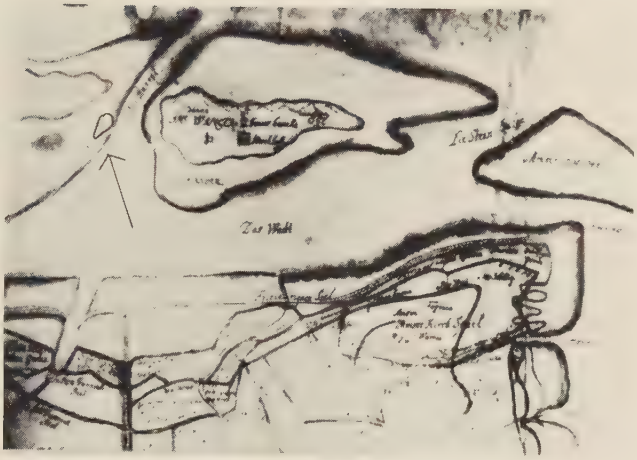


Abb. 70

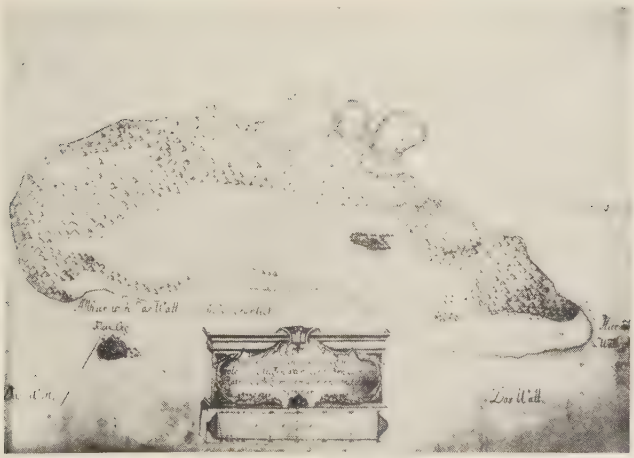


Abb. 71

Abb. 70: KOENIGSHAVEN - Dynastia Jeverensis (1740)

Abb. 71: HORST - Charte von der Insul Spiecker-Oeg (1738)

sich das Verhältnis zwischen ihm und dem WTo zu seinen Ungunsten: Der Ebbestrom des östlichen Speichers erlangt größeren Einfluß. Die Gatrinne richtet sich daher deutlicher auf N bis NzW aus als bisher und bewirkt so, daß die Bogenform verstärkt auf den Typ I festgelegt wird.

Gatbreite:

Die Gatbreite wird unter Einwirkung der vergrößerten Wassermenge weiter verändert, - freilich nicht im Sinne einer horizontalen Umgestaltung: Beträgt die Breite um die Mitte des 17. Jahrhunderts schätzungsweise 2,9 km, so mißt sie jetzt etwa 100 m weniger. Daraus ist auf eine vermehrte Tiefenerosion im Zusammenhang mit Kompressionsvorgängen zu schließen, denn der Gatquerschnitt muß sich der vergrößerten Wassermenge gesetzmäßig anpassen.

Bogenweite:

Die Weitenänderung des Bogens setzt sich fort: Der vergrößerte Ebbestrom läßt die Riffe einen ausgewölbteren, seewärtigeren Kreis beschreiben und daher etwas weiter östlich auf den jetzt gemeinsamen Strand von Insel und ausgeweiteter Sockelplate auftreffen. Der Westrand der Anlandungszone liegt ungefähr 2,7 km und der Ostrand etwa 4,4 km von der gedachten nördlichen Verlängerung der Gatrinne dieses Zeitpunktes entfernt. In den vergangenen hundert Jahren hat sich die Zone also vermutlich um 300 m nach O verlagert und dabei um 100 m ausgedehnt.

Diese Veränderung bedeutet bei den vorherrschenden strandparallelen bis auflandigen Winden wieder, daß die Beeinflussung des geraden bis schräg ostwärtigen Strandversatzes etwas später beginnt. Sie ermöglicht es nun auch schon Winden aus dem nordöstlichen Sektor, nicht nur - wie bisher - auf den nördlichen Inselteil aufbauend einzuwirken, sondern außerdem auf den nordöstlichen Inselteil und sein gat- und wattseitiges Vorgelände. Sie bedeutet verstärkten Materialtransport zu diesem Inselteil hin und um seine Randdünen herum wattwärts.

Die Folge: Es bilden sich hakenartige Dünenzüge (Abb. 72 - 75) wie im SW der Insel. Die Hakenbildung erreicht einen beträchtlichen Umfang. Dieser drückt sich weniger in der Anlage voluminöser Ketten aus, als in einer hohen Anzahl und einer breiten Streuung in der Ausrichtung der Dünenzüge (während des zu betrachtenden Bildungszeitraumes: von fast W bis S). Das Verbreitungsgebiet umfaßt den gesamten heutigen Ostheller, also ungefähr jenen Raum, der sich in einer Länge von gut 1 km zwischen dem neuen Richeldeich im W und den Deichbauten der Lietz-Schule im O erstreckt. Wattwärts ziehen sich einige Züge bis zum Hellerrand aus. Sie sind - vom Rand des geschlossenen SO-Dünengeländes an gerechnet - ungefähr 600 m lang. Dabei handelt es sich allerdings allein um die Haken im östliche Teil des Verbreitungsgebietes (Queller-Dünen); nur sie sind ungefähr N-SSW-ausgerichtet. Die Haken im westlichen Teil (Erst Hörn) sind länger; sie verlaufen nämlich schräg (= SW) bis fast längs (= WSW) durch den beschriebenen Hellerabschnitt.

Die Ausrichtung der Haken läßt auf ihr Alter und damit auf die Hauptwirkungsphase der sie erzeugenden Winde schließen. Die am deutlichsten SW- bis fast W-orientierten Haken sind die ältesten; für ihre Bildung

kommen vornehmlich Winde aus östlichen bis südöstlichen Richtungen in Frage. Diese spielen im SO-Inselgebiet als Dünenbildner ursprünglich tatsächlich eine wichtige Rolle:

Zum einen nehmen sie die reichen Sandmengen vor dem O- bis SO-Rand des alten Dünengeländes auf und verfrachten sie weiter in westliche Richtungen, die um die nordöstlichen Randdünen herum durch die vorherrschenden nordwestlichen Winde vom materialreichen N-Strand und vom laufend wachsenden NO-Strand fast ständig herangeführt werden. Zum anderen überwehen sie die weiten Sandflächen im SW und S der Ostplate, die zunächst noch nicht der Verlandung unterliegen. Erst unter Einwirkung des vermehrten Schlickabsatzes zumindest in den südliche Teilen dieser Flächen und des allmählichen Ostwachstums des östlichen Inselhellers vermindert sich ihre Bedeutung. Die nordöstlichen bis nördlichen Winde überqueren aber nach wie vor die verlandungsfreien, materialreichen Strandflächen, so daß sie die Hakenbildung fortsetzen können. Entsprechend ihrer Fließrichtung legen sie die vornehmlich SW-S-orientierten Dünenzüge im östlichen Teil der Hakenzone an.

Das heutige Aussehen der Haken vermittelt einen falschen Einruck von ihrer ursprünglichen Größe: Infolge wattwärtiger Ausblasung vor allem während des Zeitraumes im Anschluß an ihre Entstehung verlieren sie beträchtlich an Substanz. Außerdem ergeben sich später - wie an zahlreichen anderen Stellen des Dünengeländes - Verluste durch die Zerstörung der Grasnarbe als Folge übermäßiger Beweidung: Der Wind erweitert rasch die durch den Viehtritt erzeugten Risse.+) Eine negative Rolle spielt darüber hinaus stellenweise die umfangreiche Sandentnahme für Bauzwecke.

Alle Angaben zu den Veränderungen der Bogenform, Gatbreite und Bogenweite lassen ein vermehrtes Wachstum Spiekeroogs in Richtung O bis NO (Dünen- und Hellerausweitungsvorgänge seit 1650: etwa 600 bzw. 800 m) erkennen. Außerdem werden die Ausweitungsvorgänge im Platenbildungsgebiet einschließlich ihrer Entwicklung bis hin zum Zusammenschluß von Inselsockel und frühem Platenkomplex begünstigt.

Da mit zunehmender Insellänge die Wasserscheide 1. insgesamt und 2. - bedingt durch die Vergrößerung der Zeitdifferenz zwischen dem Flutbeginn im westlichen und dem im östlich Gat - noch verstärkt in Festlandsnähe ostwärts verlagert wird, stellen sich mit mehr oder weniger großer zeitlicher Verzögerung folgende wichtige Rückwirkungen auf die Verhältnisse im Harlewatt ein:

a. Die Öffnung zwischen Spiekeroog und Wangeroog wird von W her eingeengt und dadurch der Wasserumsatz zwischen See und Harlewatt beeinträchtigt.

b. Diese Beeinträchtigung kann sich über die negative Beeinflussung des Rinnensystems positiv auf die Verlandung der noch offenen Abschnitte der Harlebucht auswirken.

+) Es wird versucht, die Gefährdung der Dünenstabilität durch striktes Weideverbot (um 1860; Hellereinzäunung) und Ausrottung der Kaninchen (gegen Ende des 19. Jahrhunderts) einzuschränken.

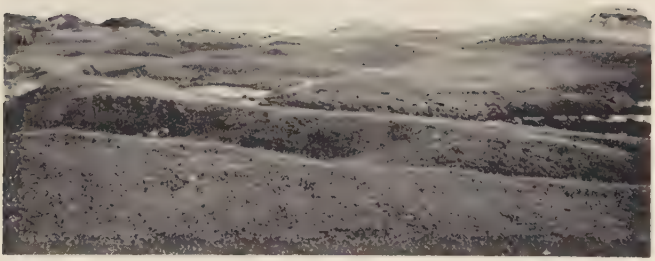


Abb. 72

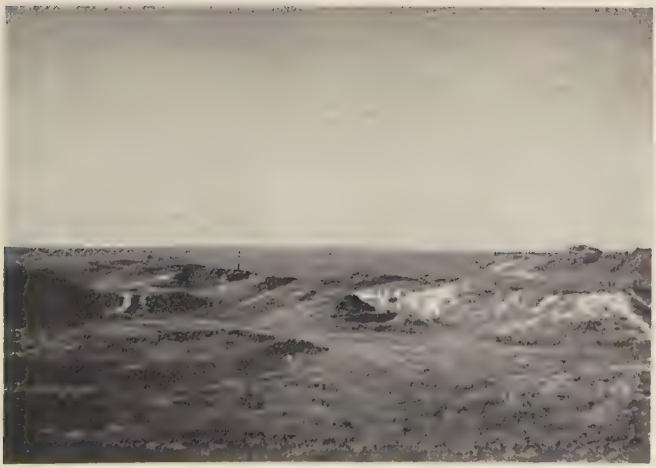


Abb. 73

Abb. 72: Reste der ältesten SO-Haken im Ostheller, teilweise zerstört (Blick O)

Abb. 73: Die südwestlichsten Ausläufer der alten SO-Haken (Blick WSW)

Abb. 74

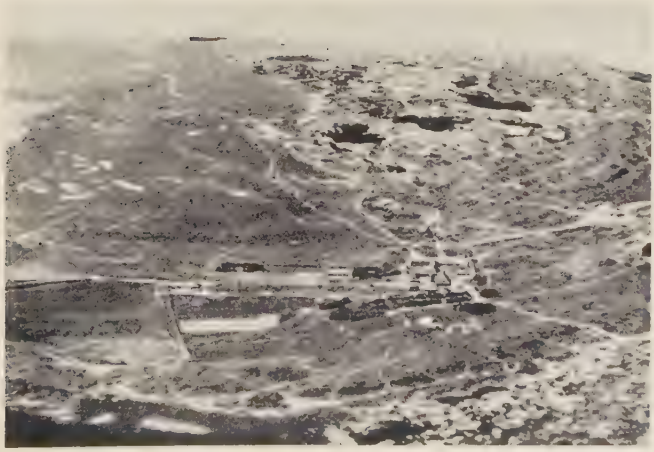


Abb. 75

Abb. 74: Alte SO-Haken im Ostheller (Blick von der Aussichtsdüne "Kohhukdüne" am Rande des östlichen Dünengeländes nach S)

Abb. 75: SO-Dünenhaken im Überblick; mit abnehmendem Alter nimmt S-Ausrichtung zu (Blick WNW auf Heller und Dünengelände des westlichen Inselteils)

c. Die ostwärtige Verschiebung der Wasserscheide vor allem unter Land ist ebenfalls für das Buchtverhalten günstig, denn dadurch werden ihr Vorland und dann sie selbst von W her dem ruhigsten Wattabschnitt angeschlossen. Der Verlandungsprozeß schreitet schneller voran.

Zusammengefaßt läßt der Zustand um die Mitte des 18. Jahrhunderts bei weiterer Rückbildung der Bucht und des Harlesystem ein vorherrschendes horizontales Wachstum der frühen Sockelplate nach allen Seiten, vornehmlich nach NW, erkennen. In seiner Folge und in Verbindung mit der ostwärtigen Ausdehnung Spiekeroogs, die - über die positive Entwicklung des Wattes der Otzumer Balje - in unmittelbarem Zusammenhang mit der Veränderung von Bucht und System stehen, kommt es zum Zusammenschluß der ausgeweiteten frühen Sockelplate mit dem Inselsockel. Östlich davon - im Gebiet des mittleren bis östlichen Abschnitts der späteren Ostplate - setzt die Bildung der mittleren Sockelplate ein, wodurch die Öffnung zwischen Spiekeroog und Wangeroog noch stärker von W her geschlossen wird.

3.1.4 Die weitflächigen Stabilisierungsvorgänge und die Bildung der jungen Sockelplate

(= Der Entwicklungszustand um die Mitte des 19. Jahrhunderts, Abb. 76)

3.1.4.1 Die Veränderungen im Harlewatt

Die Harlebucht wird bis zu diesem Zeitpunkt ganz geschlossen; ihr jüngster Deich stellt das Verbindungsstück zwischen dem alten Außendeich im W und O der Bucht dar und verläuft mit ihm fast auf gleicher Breite (= von östlich Neuharlingersiel über Harlesiel bis nördlich Funnens). Der Landgewinn beträgt seit 1750 etwa 16,5 qkm (Friedrichsgrode, 1765; Friedrich-August-Groden, 1765; Neu-Friederiken-Groden, 1799; Schwerinsgrode, 1804; Neu-Augustengroden, 1810; Kielgrode, 1810; Schwerinsgrode, 1833. HOMEIER, 1969).

Er reicht aus, in der bestehenden Tendenz auf die Watt- und Ostplate-Entwicklung nachhaltig einzuwirken. Daß er jedoch keinen gleich grosen Sprung in dieser Entwicklung herbeiführt wie in den hundert Jahren davor, obgleich der Gewinn in jener Zeitspanne ungefähr ebenso umfangreich war, kann so erklärt werden:

a. Das System der wirksamen Faktoren ist zwar sehr empfindlich und reagiert auf jede Veränderung; die Reaktionszeit kann aber Jahre und Jahrzehnte betragen, je nachdem welcher Faktor sich verändert. - In der entwicklungsschnellen Zeit von 1650 bis 1750 muß offenbar der Zeitraum von 1500 bis 1650 nachgewirkt haben, denn für ihn läßt sich in der Bucht ein Landgewinn von etwa 2,5facher Größe nachweisen.

b. Da der Wangerooger Westkopf bis ungefähr 1860 noch verhältnismäßig stabil ist, kann das Harlegat nicht unbegrenzt und vor al-

lem nicht mit gleichsam konstanter Geschwindigkeit auf die Einwirkungen reagieren, von denen es eingeschränkt und zum Ausweichen in Richtung O gezwungen wird. Gemeint ist besonders die ostwärtige Platenausweitung in Verbindung mit dem fortscheitenden Wachstum Spiekeroogs. Daß daraufhin diese Vorgänge wiederum selber langsamer ablaufen bzw. eine ausweichende Entwicklung erfahren, beweist - darauf darf schon hier hingewiesen werden - das spätere Verhalten der Ostplate: Das wattwärtige Wachstum verstärkt sich und, wie die deutliche Erweiterung des N- und NO-Strandes zeigt, sogar das in Richtung See.

Wie drücken sich im Zustand um 1850 die Entwicklungsvorgänge aus, die sich gesetzmäßig aus der Buchtverkleinerung seit der Mitte des 18. Jahrhunderts ergeben?

Das Harlesystem hat sich noch weiter zurückgebildet; es besteht jetzt nur aus einer Hauptrinne (Ho). Diese verzweigt sich zwar stark; doch davon ist hauptsächlich der WTo betroffen, weil er seine Größe nicht nur beibehält, sondern - infolge des Wangerooger Ostwachstums - sie sogar leicht positiv verändert. Für den WTw ergibt sich eine gegenteilige Entwicklung: Dort besteht allein eine bedeutende Rinne; ihr Verlauf reicht allerdings nicht weit südwärts. Sie ist die Nachfolgeform der mittleren Rinne von 1750, die über das Carolinensieler Außentief bis in die mittlere bis westliche Bucht ging (Hm).

Diese Funktion übt jetzt eine Verlängerung der Ho aus. Das zeigt, wie gering die Bedeutung von Hm noch ist. Und daraus kann auf das Volumen des WTw geschlossen werden. Er hat sich von W her so stark verkleinert, daß seine Breite nur noch gut 4 km beträgt. Zweihundert Jahre vorher mögen es bestimmt 7 km sein. Die gesamte W-O-Erstreckung des Harlewatts mißt daher im Mittel nur 10 km, also ungefähr 3 km weniger als um die Mitte des 18. Jahrhunderts. Die Wasserscheide zum WTo der Otzumer Balje endet im Vorland westlich von Harlesiel; sie ist innerhalb von hundert Jahren um fast 3 km nach O gerückt.

3.1.4.2 Die Ausweitungsvorgänge und Zusammenschlüsse

Im seeseitigen Wattgebiet erzeugt das Vorrücken der Scheide den weiteren oberflächigen Zusammenschluß der Platen - und was für die Gestalt des Gesamtsockels wichtig ist - ihr verstärktes wattwärtiges Wachstum: Infolge der allgemeinen Strömungsberuhigung an den Leeseiten tritt nun von S her auf breiter Front und in größerem Umfang als bisher Schlickablagerung in den Vordergrund. Damit ist ein wichtiges Stadium der Platenentwicklung erreicht. Im Gegensatz zur sandigen Sedimentation unter Brandungseinwirkung erzielt der Schlickfall zwar bekanntlich nur eine langsame und begrenzte Aufhöhung. Dafür ist er aber auf Breitenwirkung angelegt und sorgt insgesamt für eine zunehmende großflächige Stabilisierung des vereinigten Sockels. - Im Bereich der mittleren Sockelbildung tritt Schlickfall erst vereinzelt auf.

Im N und NW des Platengebietes bietet sich folgendes Bild: Alle Rinnen tiefer als MTnw haben sich vor dem Ostende Spiekeroogs und im Raum der angewachsenen frühen Plate geschlossen. Soweit sie im südlichen Abschnitt liegen, geschieht das weitgehend aufgrund des besagten Schlickfalls in Verbindung mit Übersandung unter Windeinwirkung.

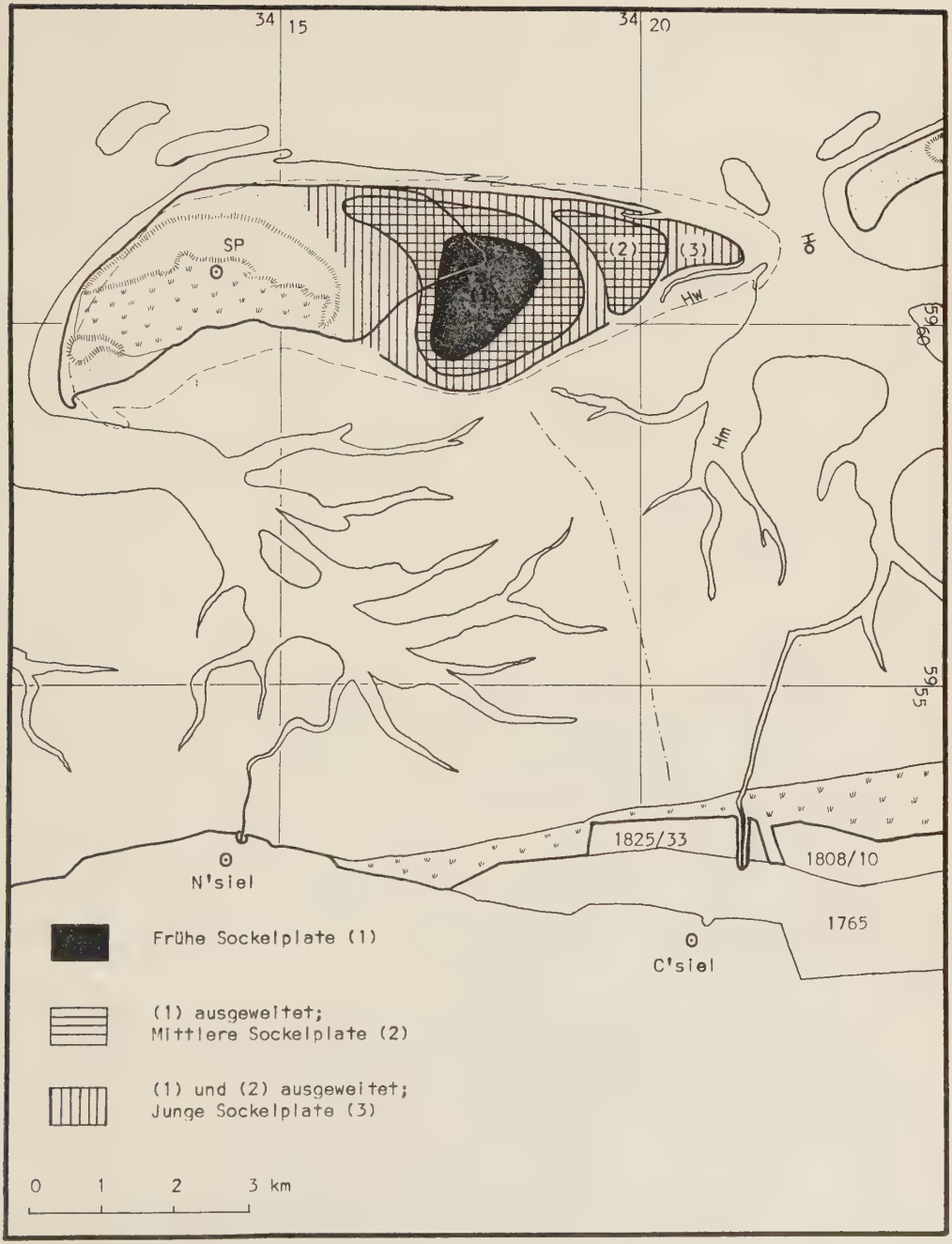


Abb. 76: Zustand des Ostplate-Sockels um die Mitte des 19. Jahrhunderts

Als Folge dieser Entwicklung ist auch die Restform des Harle-Nebenarmes von 1650 (Hw1) endgültig verschwunden. Die gemeinsame Strandfläche von Insel und früher Plate dehnt sich nun unterbrechungsfrei weit nach NO und O aus.

Im Mündungsgebiet der Hw, deren Oberlauf aufgrund der weiteren Rückbildung des Harle-WTw bis 1850 nicht mehr besteht, entwickeln sich die Aufhöhungsvorgänge so weit, daß das Rinnenniveau sich bereits im Bereich über MTnw befindet. Das bedeutet: Auch die mittlere Sockelplate kann tiefgründig ganz und oberflächlig weitgehend als vereint mit dem erweiterten, jetzt von S verstärkt beschlickten Sockel (= Inselsockel + frühe Sockelplate) westlich von ihm angesprochen werden. Auf der Seeseite verlängert sich dadurch der Strand weiter ostwärts.

Nur noch Priele und keine baljenartigen Rinnen bestimmen nun also das Aussehen der Platenoberfläche bis zum östlichen Dünenrand der Insel. Dieser schiebt sich im Rahmen der verstärkten Begünstigung des N-Strandes (= größeres Materialreservoir für den Wind) seit Mitte des 18. Jahrhunderts um etwa 350 m nach NO und 300 m nach O auf den ursprünglichen, jetzt durch die frühen und mittleren Sockelplaten ausgedehnten NO- und O-Strand der Insel. - Die MThw-Linie entfernt sich im gleichen Zeitraum um ungefähr 0,7 km auf 1,6 km nach NO und um 1,1 km auf 2,2 km nach O.

3.1.4.3 Die Sockelbildung in Gatnähe

Östlich der mittleren Sockelplate, in unmittelbarer Gatnähe, bildet sich ein weiteres Aufhöhungsgebiet aus. Hier befindet sich später die Ostspitze der Ostplate. Es soll als junger Platensockel bezeichnet werden. Nach W zur mittleren Sockelplate hin hat sein Wachstum einen solchen Umfang erreicht, daß bereits von einem Zusammenwachsen beider Sockel zu sprechen ist. Wie zwischen den nördlichen Teilen von mittlerer Plate und früher Plate bestehen hier freilich noch Prielsysteme fort.

Von den nordöstlichen Randdünen Spiekeroogs an gerechnet weist das Platensockelgebiet nun insgesamt eine W-O-Erstreckung von etwa 5 km auf. Es ist in Höhe der frühen Sockelbildung ungefähr 2,3 km und im Bereich der jungen Plate unmittelbar westlich der Gatrinne gut 0,6 km breit.

Anders als nach W hin bleibt das horizontale Wachstum der jungen Plate auf der N- und S-Seite vorerst unbedeutend. Dafür sind zwei letzte Rinnenreste aus dem Mündungstrichter der sonst nun ganz aufgefüllten Hw verantwortlich; sie verhindern um 1850 noch die see- und wattwärtige Ausdehnung. Die Entwicklung nach O zur Gatrinne läuft allerdings noch viel langsamer ab, besonders wenn man sie mit der im Bereich zur mittleren Plate vergleicht. Zu begründen ist dies so:

a. Das Gat hat jetzt mit etwa 1,7 km eine Breite erreicht, die es zu behaupten, wenn nicht sogar zu vergrößern versucht. Im Gegensatz zu früher steht sie nämlich im ungefähren Verhältnis zur Größe des Flutspeichers. - Ein ostwärtiges Zurück- bzw. Ausweichen ist zu diesem Zeitpunkt nicht möglich: Der Wangerooger West-

kopf wird durch seinen breiten hochwasserfreien Strand (gatwärtige Ausdehnung um 1850: etwa 600 m) noch stabilisiert.

b. Ganz davon abgesehen, bremst das Gat auch vornehmlich deshalb die Entwicklung der jungen Sockelplate, weil es durch das veränderte Verhältnis seiner beiden Speicher zueinander eine Richtungsänderung erfährt: Da der WTw infolge der Buchtschließung abnimmt, kann der WTo seinen Einfluß auf die Gatausrichtung steigern; dazu trägt noch verstärkend der erwähnte Umstand bei, wonach sich dieser Speicher aufgrund der leichten Ostausdehnung Wangeroogs vergrößert. Die Gatrinne läuft daher deutlicher als bisher auf NNW bis NW aus.

Eine nachhaltige Gegenwirkung von Spiekeroog her und aus dem Wattgebiet selbst setzt erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts ein.

3.1.4.4 Die Folgen im Bereich der Otzumer Balje, des westlichen und nordöstlichen Spiekeroogs

Die Buchtschließung wird auf dem Umweg über die Vergrößerung des Wattes der Otzumer Balje vielfach wirksam. Die Gesamtlänge ihres Speichers beträgt jetzt im Mittel gut 11 km. Sie hat sich damit innerhalb von etwa hundert Jahren um mehr als 2 km erweitert. Wie verhalten sich daraufhin das Gat und sein Bogen?

Gatrinne:

Da die Buchtveränderung hauptsächlich den WTo betrifft, müßte die Gatrinne jetzt eigentlich mehr auf NNW schwenken und sich in diesem Sinne die Bogenform verändern. Das ist aber nur bedingt der Fall, denn weil das Ostende Langeoogs weiter langsam ostwärts wächst und der WTw dadurch etwas an Größe gewinnt, ergibt sich ein Gegendruck, so daß die Rinne weitgehend richtungsstabil bleibt.

Stabilisierend wirkt auch der Flutstrom: In dem Maße, wie sich der Gesamtspeicher ausweitet, nimmt die Sogwirkung zu, die von ihm auf das eindringende Wasser ausgeht. Der Flutstrom wird daher beim Einlaufen ins Gat stärker als bisher aus seiner beinahe inselparallelen Bahn in Richtung Watt umgebogen. Er richtet sich mehr auf SSO aus und wendet sich dadurch deutlicher gegen den Ebbestrom.

Hakenbildung:

Die sogbedingte Ausrichtung des auflaufenden Wassers hat bei seinem Austritt aus dem Gat noch Folgen, die für den südwestlichen Rand von Spiekeroog beträchtlich sind: Der Ebbestromast des WTo gewinnt durch die Wattausweitung nicht nur an Stärke; seine Rinne dehnt sich auch aus (Länge der Schillbalje um die Mitte des 17. Jahrhunderts: vielleicht 3 km, um 1750: etwa 4 km, um 1850: 7 km). Dabei richtet sie ihren Verlauf von zunächst NW zunehmend auf WNW aus, so daß sich der Winkel zwischen ihr und der Bahn des Ebbestroms vergrößert. Die ein- und auslaufenden Wassermassen kreuzen sich vor der SW-Ecke der Insel daher stärker als vorher bei kleinerem Flutspeicher. Es kommt hier deshalb zum Materialabsatz in Form eines Hakens mit ungefähr OSO-Ausrichtung.

Einen Eindruck vom Umfang der Hakenbildung zwischen 1650 und 1850 vermitteln

a. die Entstehung der "Batteriedünen",

b. der Anschluß des "Lütjeoog" an den Inselkörper.

zu a.: Bei den "Batteriedünen" (Abb. 77; genannt nach einer französischen Befestigungsanlage der napoleonischen Zeit; MEYER-DEEPEN, 1970) handelt es sich um einen schmalen Dünenzug von gut 600 m Länge, der auf der Karte von HORST (1738, Abb. 71) als isolierte, insgesamt W-O-gerichtete Kette unmittelbar am Wattrand des damaligen Hellers verläuft. Der Heller ist an dieser Stelle entweder bereits vorhanden gewesen, so daß die Dünen auf ihn aufgeweht worden sind, oder er hat sich erst gleichzeitig mit ihnen gebildet. - Beide Möglichkeiten sind augenblicklich in der Verlandungszone der südwestlichen und mittleren Ostplate zu beobachten.

Heute liegen die "Batteriedünen" im N des Westhellers. Ihre ursprünglich wahrscheinlich sowieso nicht sehr hohen Glieder ragen nur noch teilweise deutlich über den Standort empor (maximale Höhe: etwa 2,90 m über den Hellerwiesen), denn infolge von Zerstörung durch Windabtragung, Sandentnahme und Beweidung haben sie viel von ihrer Substanz verloren. Wenn der Heller bei extremen Flutständen überflutet wird, treten sie allerdings als fast geschlossene schmale Dünenreihe markant aus dem Wasser heraus. (Abb. 78).

zu b.: Das dünentragende Inselchen "Lütjeoog" liegt im 17. und frühen 18. Jahrhundert isoliert zwischen Schillbalje und Hellerrand und findet Erwähnung und Darstellung u. a. bei ARENDS (1648) sowie auf der Spiekeroog-BROULLION (1738, Abb. 69) und der HORSTschen Karte. Es ist als Insel verzeichnet und darf in diesem Zustand als äußerer Teil der Hakenvorform angesprochen werden. Es wird allmählich von NW her der Insel angeschlossen. Das geschieht im Bereich des nassen Strandes (Sockelverbindung zwischen 1650 und 1750) und dann oberhalb von MThw durch Dünenausweitung (zwischen 1750 und 1850). - Heute ragt das ehemalige Inselchen als langgestreckter, OSO-gerichteter Dünenzug (Länge über 500 m, Breite bis 50 m, maximale Höhe 9 m) von NW her mitten in den Westheller hinein. Es läßt noch gut die frühere Hakenform erkennen (Abb. 79 - 80).

Im SW der "Lütjeoog"-Dünen haben sich weitere Dünenhaken entwickelt (Abb. 81). Es lassen sich zwei große Komplexe unterscheiden:

1. Ein etwa dreieckiges Gebiet unmittelbar südwestlich der "Lütjeoog"-Dünen (Randverlauf im N: "Lütjeoog"-Dünen - Westkopf, Buhne AF; im W: Randdünen bis zu ihrem Umbiegen nach SO; im SO: Umbiegen der Randdünen - Campingplatz - "Lütjeoog"-Dünen). Die Haken sind hier zwischen 1750 und 1850 entstanden, in Ansätzen also bereits gleichzeitig mit der Verbindung zwischen der Insel und dem "Lütjeoog". Der alte Rettungsschuppen steht auf jenem Haken, der der sich den "Lütjeoog"-Dünen südwestlich unmittelbar anschließt (Abb. 82, ganz rechts im Bild). Im Bereich des nördlichen Campingplatzes, wo auf den ersten Blick nur ein Gewirr von halb oder fast völlig zerstörten Dünen bzw. Dünengruppen zu bestehen scheint, sind mehrere Haken oder Ansätze dazu festzustellen (Abb. 83); auf einem z. B. befindet sich das Campingplatz-Waschhaus.

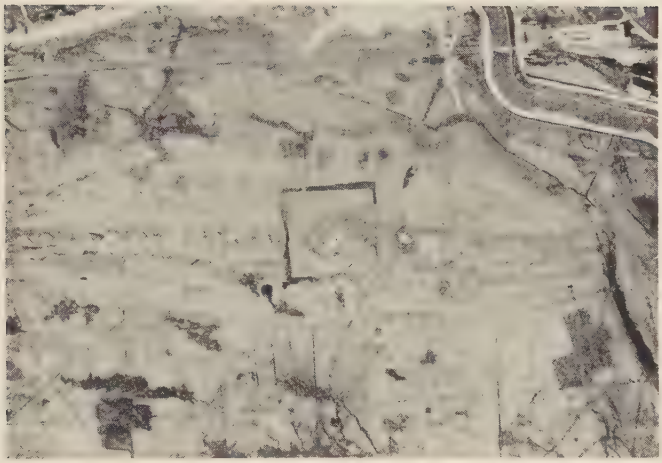


Abb. 77

Abb. 78

Abb. 77: W-O-gerichtete Kette der "Batteriedünen" (nördlicher Teil des Westhellers; im NO: neuer Richeldeich)

Abb. 78: Bei Flutständen von mindestens + 1,50 m MThw ragen die "Batteriedünen" deutlich über den Heller empor (Blick SW, vom neuen Richeldeich)

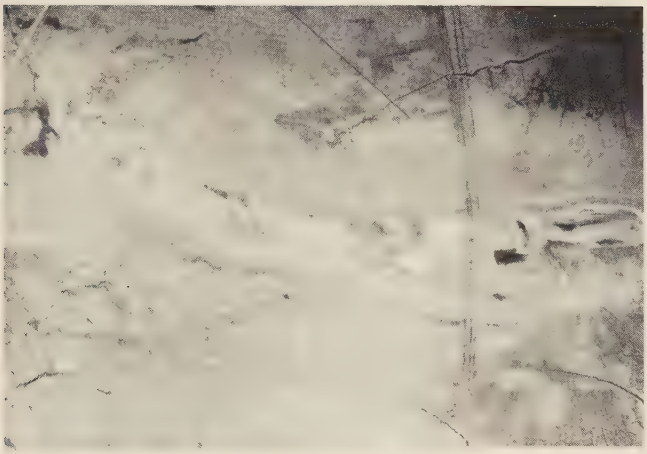


Abb. 79

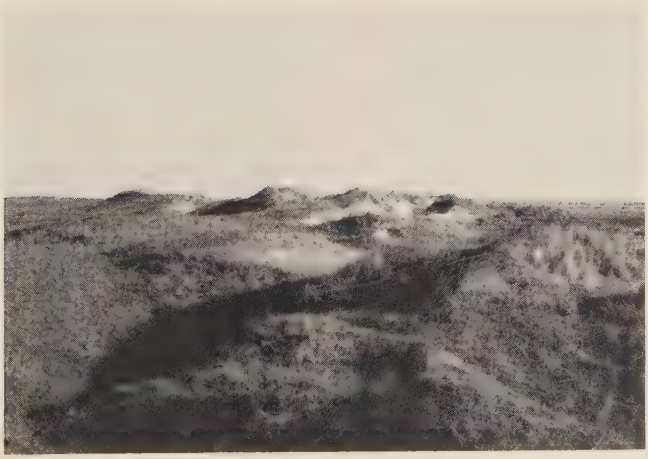


Abb. 80

Abb. 79: "Lütjeoog"-Dünen: alter SW-Haken im westlichen Heller, insgesamt OSO-gerichtet, durch Vereinigung des Inselchens "Lütjeoog" mit dem Inselsockel entstanden

Abb. 80: "Lütjeoog"-Dünen (Blick SO)

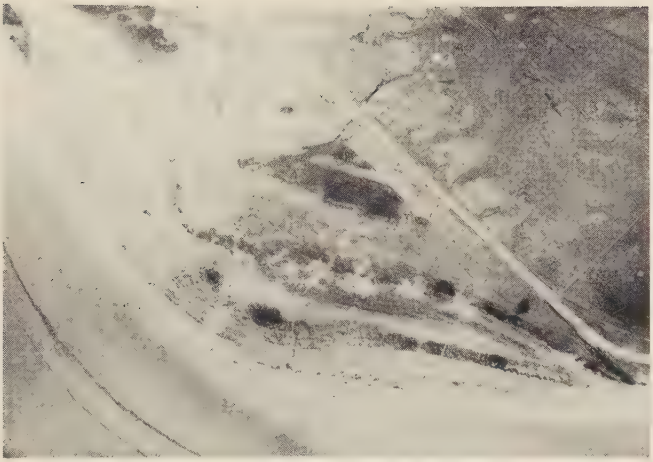


Abb. 81

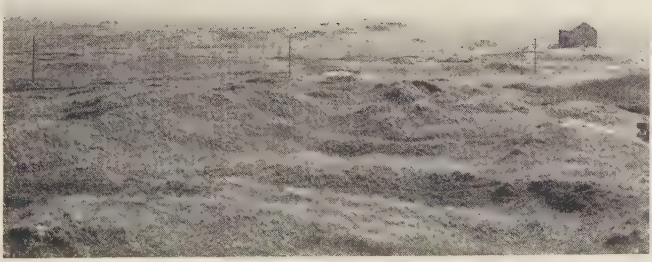


Abb. 82

Abb. 81: Dünenhaken-Gebiet im SW des alten Inselteils (im W: Otzumer Balje, im O: Westheller; alle Dünenzüge jünger als "Lütjeoog"-Haken)

Abb. 82: "Lütjeoog"-Dünen (Mittelgrund) und zeitlich anschließende Hakenbildungen (Vordergrund und rechte Bildhälfte; Ausrichtung jeweils OSO-SO (Blick SO, von den NW-Kliffdünen)

Abb. 83

Abb. 84

Abb. 83: Westteil der "Lütjeoog"-Dünen (Mittelgrund) und gleichaltrige bzw. jüngere Hakenbildungen (linke Bildhälfte); im Hintergrund NW-Randdünen (Blick NW, vom Westheller)

Abb. 84: Junge SW-Dünenhaken, nach 1850 entstanden (Blick S)

Abb. 85

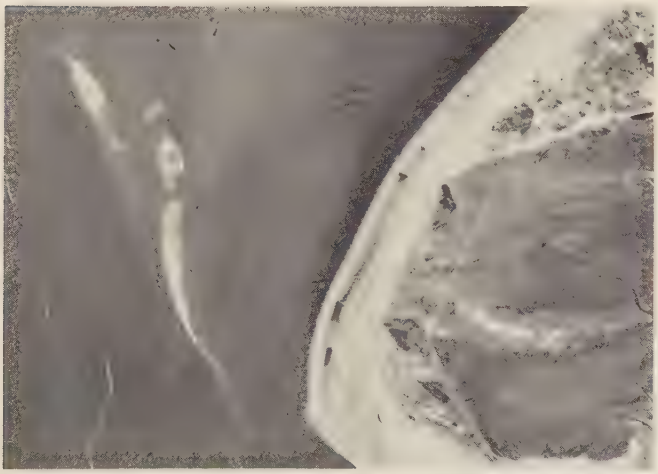


Abb. 86

Abb. 85: Jüngste Hakenbildung auf dem trockenen SW-Strand im Luv der bisherigen SW-Haken: Ausgangsstadium eines neuen Dünenwalls (Blick NW)

Abb. 86: Im Ostteil der Gatrinne der Otzumer Balje: Sandstauzone der Mittelplate - Lieferant großer Riffe, die den NW-Strand Spiekeroogs fast periodisch Material zuführen, aber auch gefährden (Aufn. 1966)

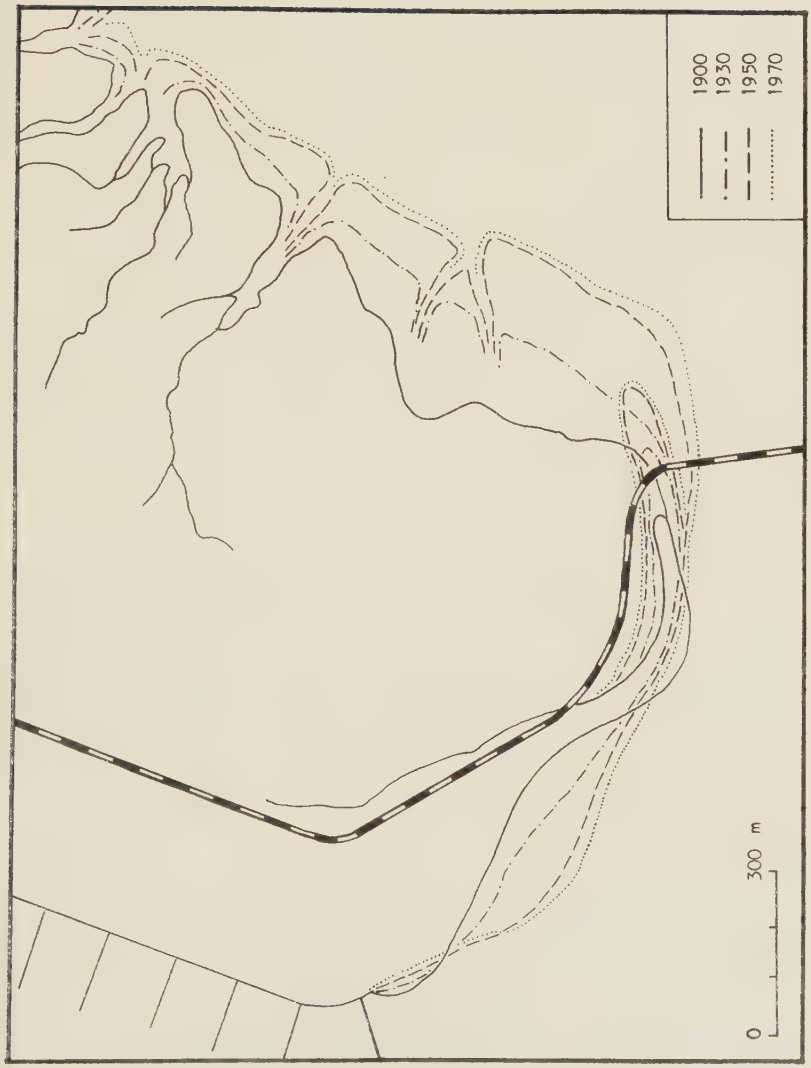


Abb. 87: Die Entwicklung des SW-Haken-Dünengebietes und des westlichen Hellerrandes

Alle diese Haken ragen zwar von den westlichen Randdünen aus nach O bis SO in Richtung Heller, keiner weist jedoch die Länge und ausgeprägte Gestalt des "Lütjeoog"-Dünenzugs auf. Die Gründe: Die exponierte Lage auf dem Westkopf bedingt, daß die Haken häufig unter Einwirkung der direkt vom W- bis NW-Strand her - durch Bruchstellen in den damals noch so gut wie unbefestigten Randdünen - auflaufenden Sturmfluten geraten und dadurch in ihrer Entwicklung nicht nur stark eingeschränkt, sondern auch teilweise um Jahrzehnte zurückgeworfen worden sind. Wie im Fall der "Lütjeoog"-Dünen hat die spätere Befestigung des Strandes auch hier zur erheblichen Verminderung der stetigen Materialzufuhr und damit fast zum Ende der Ausdehnung und Aufhöhung geführt.

2. Ein zweites Gebiet der Hakenbildung schließt sich unmittelbar südlich bis südwestlich an. Obwohl hier richtige Dünenzüge erst von etwa 1850 an entstehen, wird - um den Zusammenhang zu wahren - schon jetzt darauf eingegangen: Die südwestliche Hakenbildung, die den Komplex der heutigen Süderdünen entstehen läßt, läuft auf dem oberen trockenen SW-Strand im Vorfeld der älteren Haken und des westlichen Hellers in einer Gesamtlänge von über 1 km und einer Gesamtbreite von über 300 m ab. Es entstehen mehrere deutlich ausgeprägte Haken. Sie sind fast parallel angeordnet und richten sich alle zunächst nach SO, dann biegen sie um und laufen - bei allmählicher Höhen- und Breitenverminderung - ostwärts bis zum Hellerrand.

   Abb. 84 zeigt die beiden ältesten dieser Haken der südlichen SW-Hakenzone. Wie sie ihre Fläche ausgeweitet haben und in welchem Umfang und Zeitraum die jüngeren Dünenreihen luvseitig davon entstanden sind, verdeutlicht Abb. 87. - Auch heute ist die Hakenbildung parallel zur Rinne der inneren Otzumer Balje noch längst nicht abgeschlossen. Auf dem Strand zwischen der Balje und der jüngsten fertigen Dünenreihe der Hakenzone läuft gerade das Anfangsstadium eines neuen Zuges ab (Abb. 85). Wie bisher geschieht das auf der Basis jenen Materials, das vom Flut- bzw. Ebbestrom auf den SW-Strand zwischen der Balje und den Hakendünen abgesetzt und dann von Winden aus NW (Funktion vor allem: Anlage und wattwärtige Verlängerung des Dünenhakens) bis SW (Funktion vor allem: Aufhöhung und Verbreiterung des Dünenhakens) akkumuliert wird.

Gatbreite:

Gegenteilig läuft die Entwicklung im W und NW des Westkopfes ab: Die gesteigerte Aufnahmefähigkeit des Wattes erhöht die Strömungsgeschwindigkeiten im Gat, zumal dieses von W her weiter eingeengt wird. Seine Breite beträgt nämlich nur noch etwa 2,7 km; das sind 200 m weniger als um 1750. - Aus der Einengung folgern die Abtiefung der Sohle und Aufsteilung der Ränder. Diese Vorgänge müssen eintreten, damit der dem Flutspeicher angemessene Gatquerschnitt erhalten bleibt. Sie wären noch bedeutend umfangreicher, wenn der Westkopf Spiekeroogs nicht auf den Druck aus W reagieren würde. So aber weicht er seit 1750 etwa 500 m und seit der Mitte des 17. Jahrhunderts zusammen sogar um 900 m ostwärts zurück. Wie verhält sich die Bogenweite?

Bogenweite:

Sie ändert sich aufgrund der vergrößerten Wassermenge ebenfalls wieder bedeutsam: Die Anlandungszone verlagert sich in den Strandbereich, der ungefähr 3,1 bis 5,1 km westlich der gedachten Verlängerung der Gatrinne liegt. Ihr Westrand verschiebt sich gegenüber 1750 also um 400 m, ihr Ostrand sogar um mindestens 700 m. Das Wandermaterial wird somit noch etwas deutlicher als bisher direkt dem N- bis NO-Strandgebiet der Insel und der Sockelplaten im Anschluß daran zugeführt. Entsprechend größer ist seine Bedeutung für die Aufhöhungs- und Ausweitungsvorgänge.

Während sich die Weitenänderung für dieses Gebiet nur positiv bemerkbar macht, geht im NW der Insel eine umgekehrte Wirkung von ihr aus: Durch den weiteren ostwärtigen Versatz der Zone stärkster Materialzufuhr vom mittleren Abschnitt des NW-Strandes fort werden dort und weiter westlich die Strandverluste und Dünenabbrüche begünstigt, die aus der Einwirkung der auflaufenden Strömungen und der Gatverlagerung resultieren. Es geht dem sowieso schon äußerst gefährdeten Teil der Insel jener Sand verloren, den er zumindest zur zeitweiligen Stabilisierung von Strand und Dünen benötigt. Daß der negative Einfluß nicht noch größer ist, hängt mit dem Umstand zusammen, wonach der Bogen der Otzumer Balje ja eine Form des Typs I (vgl. 2.1.1.2) darstellt: Der ihn gestaltende Ebbestrom richtet sich ungefähr nordwärts und nicht gegen den Westkopf oder NW-Strand-parallel aus. Das hätte zwar den Ostteil der Insel und die anschließenden Gebiete möglicherweise noch mehr gefördert, die westliche Insel aber mindestens in gleichem Maße umgekehrt beeinflußt.

Zusammenfassung: Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts schreitet die Entwicklung der mittleren Sockelplate so weit voran, daß sie mit der frühen Sockelplate in Verbindung tritt. Diese dehnt sich bei weiterer Aufhöhung allseitig aus, wobei auf der Wattseite verstärkter Schlickfall ihre Stabilität erhöht. Im westlichsten Teil geht sie in die ostwärts setzende Insel auf. Alle meerseitigen Sockelabschnitte richten sich zunehmend auf einen gradlinigen W-O-Verlauf aus. Die MThw-Linie springt weit ostwärts vor bis zur jungen Sockelplate, die sich zwischen der mittleren Plate und dem Gat bildet und den östlichen Teil der Ostplate darstellt. - Alle Entwicklungsvorgänge auch dieses Zeitraumes hängen mit den Veränderungen der Harlebucht bzw. des Harlewatts unmittelbar oder mittelbar zusammen.

3.1.5 Die Entwicklung nach 1850

Die Darstellung der Entwicklungsvorgänge von der Mitte des 19. Jahrhunderts an bis zur Umwandlung der Ostplate in eine Düneninsel kann weitgehend entfallen, denn:

a. Der Bildungsprozeß läuft auch jetzt vornehmlich nach den Gesetzmäßigkeiten ab, die oben beschrieben und anhand der Zustände

und Veränderungen während der Zeit vom Anfang des 17. Jahrhunderts bis etwa 1850 belegt werden konnten. Er geht jetzt freilich im ganzen etwas langsamer vonstatten; eine Stabilisierung der beteiligten Faktoren macht sich bemerkbar: Die Harlebuchtschließung ist so gut wie erreicht; es können von hier aus deshalb keine wesentlichen Veränderungen mehr direkt oder indirekt ausgelöst werden.

b. JANSSEN (1933) hat für den Zeitraum von 1866 bis 1926 mehrere Zustände angegeben, denen zuzustimmen ist.

Nur einige Anmerkungen müssen noch angefügt werden. Sie beziehen sich zunächst auf die weitere Entwicklung im Bereich des NW-Strandes, wo - wie oben bereits angedeutet wurde - die platenbegünstigende Weiteveränderung des Riffbogens der Otzumer Balje noch nachwirkt. Danach ist die Entwicklung des jungen Platensockels im Zusammenhang mit der Veränderung der Harlerinne in den vergangenen hundert und vor allem in den letzten dreißig Jahren zu betrachten.

3.1.5.1 Die NW-Strand-Gefährdung zugunsten der Platenstabilisierung

Zur Entwicklung des Spiekerooger Westkopfs und seiner Dünen vor und besonders nach der Errichtung von Strandschutzbauten liegt bereits eine Untersuchung vor (HOMEIER, 1960). Daher genügen hier einige zusätzliche Angaben. Wie oben gezeigt wurde (Kapitel 2.1), wölbt die Otzumer Balje ihren Bogen aufgrund der Situation im Wattraum weit meerwärts. Dabei wird ein verhältnismäßig großes Vorstrandgebiet (etwa 5,3 qkm) umgriffen. Im Gegensatz z. B. zu Norderney treffen daher sowohl der Flutstrom von See her als auch der Ebbestrom aus dem Gat nicht unvermindert auf den Westkopf. Das Vorhandensein dieses lagegünstigen Vorstrandgebietes macht aber keineswegs den Umstand wett, daß sich die Anlandungszone des Riffbogens weiter nach O verlagert hat und damit der ständige auflandige Materialtransport nun verstärkt dem mittleren bis östlichen Inselteil zugute kommt. Der NW-Rand Spiekeroogs ist aus folgenden Gründen äußerst gefährdet:

a. Das Strandgebiet der episodischen Überflutungen ragt hier selbst mit seinen höchsten Stellen nur wenig über die MThw-Linie empor. Die Basis der Randdünen liegt infolgedessen verhältnismäßig tief.

b. Der sehr geringe inselwärtige Anstieg des mittleren Vorstrandes (Lage: -2,5 bis -3,5 m NN), der das Relief zwischen Riffbogen und NW-Strand am meisten bestimmt, setzt sich nicht oberhalb der - 2,5 m NN-Linie, d. h. im Bereich des oberen Vorstrandes (Lage: MTnw-Linie bis -2,5 m NN) sowie des nassen und trockenen Strandes fort. So liegt in Höhe des Damenpad-Ausgangs eine seewärtige Neigung von mehr als 4 % vor. Sie ist für den gesamten nordwestlichen Inselrand oberhalb der MThw-Linie typisch.

Aufgrund der geringen Gesamthöhe des Inselrandes und der starken Neigung sind die einzelnen vertikalen Strandabschnitte sehr schmal und brandungsintensivierend, also abbruchanfällig. Der trockene Strand verfügt über eine so unbedeutende Breite (= stellenweise nur einige Meter!), daß selbst

bei Fluten von nur wenigen Dezimetern über Normal bereits der Fuß der Randdünenkette abradiert wird (Abb. 88 - 91).

Ganz ohne Materialzufuhr ist der NW-Strand nach der Ostverlagerung des Riffbogens freilich nicht; sie ist jedoch an Quantität keinesfalls mit der im Bereich der Anlandungszone zu vergleichen. Einerseits geht sie in Form von verhältnismäßig kleinen, dafür aber in rascher Folge anlandenden Riffen vonstatten. Andererseits erfolgt sie in Gestalt von volumi-nösen Riffen (im Durchschnitt mehr als 1500 m lang und über 250 m breit), die aus dem südlichen Teil des Vorstrandgebietes heraus in großen Zeitabständen ankommen und bei ihrer Anlandung dem Strand große Mengen Sand zuführen. Ein Nutzen für die Inselsicherung ergibt sich daraus allerdings nur zeitweilig, denn die Riffe veranlassen - ehe sie schließlich anlanden - erhebliche Zerstörungen im Strandbereich und an den Randdünen:

Lieferant der großen Riffe ist die Mittelplate (Abb. 86). Sie stellt eine große submarine Akkumulationszone am westlichen Übergang zwischen dem beschriebenen flachen NW-Vorstrand und der im W angrenzenden Gatrinne der Otzumer Balje dar. Ihre Ausrichtung und Form lassen die Wirkungsrichtung der Kräfte erkennen, durch die sie angelegt und gestaltet wird (= die hier fast frontal aufeinandertreffende Flut- und Ebbeströmung). Die Plate dehnt sich bei einer mittleren Breite von mehr als 200 m knapp 900 m vornehmlich von SSO nach NNW aus, also ungefähr parallel zum Verlauf der Gatrinne. Im Gegensatz zu den kleinen Riffen des Vorstrandes ragt sie deutlich über die -2,5 m NN-Linie empor, und zwar durchschnittlich um mehr als 1,5 m. Sie liegt daher bei normalem Niedrigwasser größtenteils trocken und ähnelt damit den Gliedern des Riffbogens.

Hinsichtlich der Funktion bestehen zu diesen allerdings erhebliche Differenzen, denn die Mittelplate tritt im ganzen als verhältnismäßig labile Anhäufungszone in Erscheinung. Sie ist also viel eher mit der Sandstauzone vor der Langeooger Ostspitze in Verbindung zu bringen. Daß ein Vergleich hier tatsächlich angebracht erscheint, beweist auch der Umstand, daß dieses Gebiet - bedingt durch die in ihm auftretenden Strömungen - nicht nur einen Vorstrandbereich mit überdurchschnittlicher Akkumulation darstellt, sondern auch von Zeit zu Zeit Sand in Richtung NW-Strand abgibt. Das geschieht jedesmal dann, wenn im Bereich der Mittelplate mehr Material angehäuft wird, als es seine Aufnahmefähigkeit erlaubt, d. h. wenn der vornehmlich vom Flutstrom herangeführte Sand einen solchen Umfang annimmt, daß die Wassermassen des Ebbestroms die Akkumulationszone nicht mehr passieren können, ohne Abbrüche zu verursachen.

Die Riffentstehung kündigt sich in einer geringen Ausdehnung des ungefähr mittleren Abschnitts des östlichen Mittelplate-Teils gegen die Vorstrandzone an. Unter Einwirkung des Ebbestroms, der aus dem Platenzentrum ständig Material heranführt, wächst sich die Ausweitung nach und nach zu einem ungefähr zungenförmigen, dann - infolge der laufenden Ausdehnung seines östlichen Randes - zu einem mehr und mehr gestreckten riffartigen Gebilde von einigen hundert Metern Länge aus. Der Fließrichtung der dominierenden Strömung an dieser Stelle entsprechend, verfügt es über eine Ausrichtung zunächst ungefähr nach NNO.

Während Wachstum und Form im frühen Entwicklungsstadium also fast aus-

Abb. 88

Abb. 89

Abb. 88: Dünenkliff des NW-Strandes. Trockener Strand hat nur geringe Breite: MThw-Linie verläuft wenige Meter vor dem Kliffuß (Blick NO)

Abb. 89: NW-Dünenkliff unmittelbar nach Fluteinwirkung (Wasserstand ca. + 1,20 m MThw)

Abb. 90

Abb. 91

Abb. 90: Dünen des NW-Strandes in Abbruch (Abrasion u. Rutschung)

Abb. 91: Nach überdurchschnittlich hoher Flut: Abradiertes Kliff-dünen-Material höht den trockenen NW-Strand vor allem unmittelbar vor dem Kliffuß zeitweilig auf (Blick NO)

schließlich vom Ebbestrom verursacht und fortgeführt werden, macht sich mit zunehmender Rifflänge auch der Einfluß des auflaufenden Wasser bemerkbar, und zwar umso stärker, je weiter das Riff in die Vorstrandzone hineinwächst, d. h. je weiter sich der äußere Riffteil vom Gat entfernt. Der Flutstrom ist hier nämlich nicht ganz so deutlich zum Gat ausgerichtet wie weiter südwestlich und kann zumindest dem nordöstlichen Abschnitt des Gebildes direkt Material zuführen. Da das Gat aufgrund seiner Sogwirkung immer noch eine erhebliche Rolle spielt, erfolgt die Zufuhr allerdings noch nicht im rechten Winkel zur Rifflängsachse, sondern schräg zu ihr. Das ändert sich jedoch allmählich. Je mehr sich das Riff in die Vorstrandzone hinein auszieht, desto deutlicher schwenkt es auf eine strandparallele SW-NO-Ausrichtung um. Das geschieht unter der immer deutlicheren Einwirkung des Flutstroms, denn das auflaufende Wasser tritt nun - aufgrund der größeren Gatferne, also der geringeren Ablenkung in Richtung Watt - als weitgehend strandfrontal in Erscheinung.

Als Zielgebiet der auflandigen Riffwanderung kommt der Inselrand zwischen Westkopf und mittlerem NW-Strand in Frage. Das Riff richtet sich also auf jenen Strandabschnitt aus, der im südwestlichen Teil durch die Strand- und Dünenschutzanlagen befestigt ist und im NO den westlichen Abschnitt der ungeschützten Randdünenkette aufweist.

Bei der Annäherung des Riffs ergeben sich wichtige Veränderungen. Dabei handelt es sich um Vorgänge im Sinne einer weiteren Ausprägung der bestehenden Reliefverhältnisse. So wird vor allem der Strandabschnitt zwischen ihm und dem oberen Vorstrand allmählich eingeengt und abgebaut. Er reicht sowieso bereits unter das Niveau des mittleren Vorstrandes hinab, weil er teils als Bahn des strandparallelen, um den Westkopf biegenden Ebbestromastes fungiert, teils als die für die ostfriesischen Inseln typische Strandbalje ausgebildet ist. Da sich in der Vertiefung aufgrund der Einengung eine Beschleunigung vor allem der Wassermassen der Ebbephase ergibt, findet Tiefenerosion statt. Sie geht Hand in Hand mit Abrasionsvorgängen am Inselrand:

Zunächst erfährt der Vorstrand eine Aufsteilung unter gleichzeitig verstärkter Bearbeitung durch die Brandungskräfte des auflaufenden Wassers. Anschließend werden auch der nasse und der ja äußerst schmale trockene Strand aufgesteilt und zunehmend abgebaut. Die Folgen für die Randdünen sind augenfällig. Sie geraten immer mehr in Abbruch und weisen schließlich ein aktives Kliff auf, das ungefähr die gleiche Länge wie das Riff hat. Dieses wirkt also über die Freigabe bzw. Verstärkung verschiedener Erosions- und vor allem Abrasionskräfte negativ auf den Inselrand ein.

Die negative Umgestaltung hält jedoch nicht lange an, sondern macht einer entgegengesetzten Entwicklung Platz:

Das Riff schaltet nach und nach die Vertiefung zwischen sich und dem Strand aus, indem es sie ausfüllt und sich dem Strandhang anschmiegt. Die einzelnen Phasen dieser Entwicklung laufen so ab wie bei der ebenfalls zeitweiligen und ebenfalls riffbedingten Schließung der Strandbalje in der Anlandungszone des Riffbogens.

Die Folgen der Anlandung sind für den betroffenen Inselabschnitt sehr günstig. Es kommt zur leichten Ausweitung des Strandes, also zur positiven Strandentwicklung, und damit zur Verminderung der In-

seigefährdung ohne Zutun des Menschen. Dieser Vorgang drückt sich im deutlichen Abrücken der MThw-Linie vom Fuß der Randdünenkette aus, deren seeseitiger Hang dadurch zum toten Kliff wird.

Diese Kliffgestalt ist jedoch nicht endgültig, denn die neue Breite und Neigung des Strandes reichen noch lange nicht aus, um die Wassermassen, die beim Vordringen bis in eine solche Höhe nicht einmal auf weit überdurchschnittlichen Flutständen basieren müssen, zum Totlaufen zu bringen und damit von den Randdünen fernzuhalten. Wenn es sich nur um Fluten von wenigen Dezimetern über Normal handelt, erreicht der Abbruch freilich nicht den gleichen Umfang wie im Zeitraum vor der Riffanlandung.

Es ist nun zu fragen, wieviel Zeit zwischen Bildung und Anlandung der einzelnen Großriffe und damit zwischen der vorwiegend negativen und der teilweise positiven Strand- und Randdünenentwicklung verstreicht (Tab. 23).*)

Wie um 1880 und um die Jahrhundertwende verliert der NW-Strand in den zwanziger Jahren nach und nach an Breite: Ein Riff schiebt sich aus dem Gebiet der Mittelplate vor. 1937 erreicht die Vertiefung des oberen Vorstrands ihr stärkstes Ausmaß und zeigt damit den Höhepunkt der negativen Beeinflussung von Strand und Dünen an. Es besteht kein trockener Strand mehr und nur noch ein schmaler nasser Abschnitt. Seine Neigung beträgt 2,8 %.

Zwischen 1938 und 1942 geht das Riff vollständig in den Strand auf. Das führt zu dessen rascher Ausweitung und Abflachung. Es kommt ein ausgeprägter trockener Strand zustande. Der nasse Strand, der sich um das mehr als 2,5fache verbreitert, neigt sich jetzt wesentlich weniger als vor fünf Jahren (1,2 %). Der Fuß der Randdünen wird nun nicht mehr von normal hohen Fluten und auch nicht von solchen mit einer Auflaufhöhe von MThw + ca. 1,50 bis 1,70 m erreicht. Ein Stadium größter Strand- und Dünenstabilität, besser gesagt: geringster Strand- und Dünengefährdung ist erreicht.

Die restlichen vierziger und gut die Hälfte der fünfziger Jahre stehen im Zeichen einer erneuten Gefährdung durch das nächste Riff bzw. bzw. dessen leeseitige Rinne. Der Höhepunkt der Abrasion fällt in das Jahr 1955. Da nun die 0 m NN-Linie, die sich seit 1942 um fast 260 m zurückverlegt hat, unmittelbar vor dem Fuß der Randdünen verläuft, geraten diese jetzt sogar bei normalen Fluten in Abbruch. Die Neigung des nassen Strandes beträgt 2,7 %.

In den Jahren 1956 bis 1963 läuft wieder eine entgegengesetzte Entwicklung ab. Sie erreicht jedoch noch keinen nennenswerten positiven Umfang, d. h. eine erhebliche Verbreiterung des Strandes und eine Zunahme der Dünenstabilität kommen nicht zustande.

---

*)
Die Angaben basieren auf der Auswertung von Nivellements und Lotungen, die im angegebenen Zeitraum zwischen den Buhnen AC und AD senkrecht zur Uferlinie in den südöstlichen Teil des nordwestlichen Vorstrandes hinein gemacht worden sind (Profil Nr. Z 3 der Spiekerooger Strandpeilungen des WSA Norden).

	nasser Strand u. Vorstrand	nasser Strand
neg. Strandzustand		
1937	2,5	2,8
1955	2,8	2,7
pos. Strandzustand		
1942	2,0	1,1
1964	2,2	1,2

Tab. 23: Die Neigungsverhältnisse im Bereich des nassen NW-Strandes und NW-Vorstrandes zum Zeitpunkt der maximalen negativen bzw. positiven Strandentwicklung (in %)

Erst 1964 stellt sich eine wirklich positive Strandveränderung ein. Der Dünenabbruch bei normalem Hochwasser hört auf. Gefährdungen treten erst wieder bei Wasserständen von MThw + etwa 1,50 m auf. Die Neigung des nassen Strandes macht 1,2 % aus. Da in 1964 die gleichen Kennzeichen gegeben sind wie in 1942, kann das im Zusammenhang damit Gesagte wiederholt werden: Es liegt die Endphase einer Riffanlandung vor, die sich in einer raschen Strandaufhöhung, -ausweitung und -abflachung zeigt.

Nach 1964 verläuft die Entwicklung wieder umgekehrt. Denn: Alle Tiefenlinien biegen seitdem zum trockenen Strand hin um. Die MThw-Linie hat die Randdünen fast erreicht. Legt man den Entwicklungsgang der letzten 40 Jahre zugrunde, so darf zwischen 1976 und 1978 mit dem Höhepunkt dieser negativen Entwicklungsphase gerechnet werden. Erst dann findet die Anlandung jenes Riffs statt, das nach 1964 in Erscheinung tritt und sich zur Zeit dem Spiekerooger NW-Strand nähert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden: In den vergangenen 40 Jahren sind zwei voluminöse und daher erheblich strandverändernde Riffe von der Mittelplate her angelandet. Ein weiteres schickt sich dazu an. Denn: Es sind zweieinhalb zeitlich klar faßbare Stadien negativer und zwei Stadien positiver Strand- und Randdünenentwicklung nachweisbar. In der Abfolge der Vorgänge, die sich dabei im einzelnen ergeben, zeigt sich ein gewisser Rhythmus. Es fällt vor allem auf, daß sich die von diesen Vorgängen beanspruchten Zeiträume in ihrer Länge fast gesetzmäßig verhalten:

Ein negatives Entwicklungsstadium mit höchster Strandgefährdung dauert insgesamt 12 bis 13 Jahre. Es ist also fast doppelt so lang wie der vergleichbare Zeitraum im Bereich der Riffanlandung des Bogens. Während seines Höhepunkts liegt eine mittlere Neigung des nassen Strandes von von 2,75 % vor. - Ein positiver Entwicklungsabschnitt mit weitgehend ausgeschalteter Gefährdung des Inselrandes verfügt über eine Gesamtdauer

von durchschnittlich 7 Jahren. Er übertrifft den vergleichbaren Zeitraum in der Anlandungszone des Bogens um knapp das 1,2fache an Länge. Die Neigung des nassen Strandes macht zum Höhepunkt des Abschnitts etwa 1,2 % aus; sie ist also - was die sehr positive Entwicklung bei und nach der Anlandung der frischen Sandmassen gut verdeutlicht - um das 2,3fache günstiger als während des negativen Stadiums.

Die angegebenen Zeitspannen zeigen: Es vergehen vom Gefährdungsmaximum sowie vom Zeitpunkt der verhältnismäßig größten Stabilität bis zum jeweils nächsten dieser Termine jedesmal 20 Jahre.

Der Wechsel von Zeiträumen negativer und positiver Strandentwicklung darf nicht zu der Annahme führen, Materialentzug und -zufuhr hielten sich die Waage. Auch wenn jedesmal nach stärkster Gefährdung erhebliche Strandverbreiterungen und -abflachungen eintreten, will das keinesfalls besagen, daß die Dünen ebenfalls wieder erheblich, geschweige denn im gleichen Verhältnis, meerwärts wachsen. Sie weisen infolge der gesteigerten Materialzufuhr, deren Grundlage ja das angelandete Riff und das Zustandekommen eines trockenen, weitgehend windzugänglichen Strandes ist, zwar ein merkliches Wachstum in diese Richtung auf. Die Zeit der positiven Entwicklung ist jedoch viel zu kurz und der sich in ihr ergebende Abstand des Dünenfußes von der MThw-Linie immer noch viel zu klein, um einen umfangreichen Ausgleich der Abbrüche zu erlauben.

Die Bilanz fällt also eindeutig zuungunsten des NW-Strandes und seiner Dünen aus!

3.1.5.2 Die Platenausweitung und das Verhalten des Harlegats

Die oben angesprochenen Gegenwirkungen auf den NNW-Verlauf der Harle, durch den um die Mitte des 19. Jahrhunderts die weitere Ausbildung der jüngsten, östlichsten Sockelplate beeinträchtigt wird, ergeben sich folgendermaßen:

1. Gegenwirkung:

Das Ostwachstum dieses Gebietes setzt erst zunehmend ein, nachdem die Buchtverkleinerung bis 1850 und die daraus resultierende Vergrößerung des Wattenraumes der Otzumer Balje sich mit zeitlicher Verzögerung in der Bogenweite niederschlagen. Das ist in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts der Fall. Gefördert wird die Entwicklung wahrscheinlich auch durch die entsprechenden Auswirkungen des jüngsten Landgewinnes im Harle-Bereich (Elisabethgroden, 1894/95 = gut 6 qkm), der das Gebiet der zurückgewonnenen Bucht stellenweise sogar noch leicht wattwärts ausweitet.

Von nun an verstärken sich die weitflächigen Aufhöhungs- und Stabilisierungsvorgänge besonders im NO und O sowie, als Folge daraus, der Aufschlickungsprozeß im S und SO des Sockelgebietes. Das Ergebnis: Die Harlerinne wird rasch auf N abgedrängt.

2. Gegenwirkung:

Sie hängt mit der Strandveränderung an der Westseite Wangeroogs zusammen; teilweise mag daran die Entwicklung des östlichen Platenteils Schuld sein (= die 2. Gegenwirkung tritt u. a. auf indirekte Veranlassung der 1. Gegenwirkung auf).

Nach 1860 verschwindet der schützende, 600 m vorragende Strand vor dem Westkopf unter Einwirkung von Gezeitenströmungen und Brandung; er verlagert sich schnell südwärts und danach ostwärts. Daraus resultiert nicht nur der Schutzverlust des Inselsockels, sondern auch die Richtungsänderung des Gats, denn in gleichem Maße wie der Strand seine Lage weiter ostwärts annimmt, verringert sich sein positiver Einfluß auf die Fließrichtung des Ebbestroms. Nach einem kurzfristigen NW-Schwenk, der zum Zeitpunkt der extremsten SW-Strandlage vor dem endgültigen Ansetzen weiter östlich (= Ebbestrom wird abgelenkt; 1860 bis etwa 1890) erfolgt, dreht sich die Rinne zunehmend auf N.

Mit der N-Ausrichtung und ihrer Folge nimmt das Wachstum der jungen Sockelplate ständig zu. Das Gat wird deshalb von W her langsam aufgehöht (von 1910 bis gegen 1938 um knapp 10 m) und verschmälert. Gleichzeitig entwickelt sich unter dem Druck der ausweichenden Strömungen unmittelbar unter dem Wangerooger Inselkopf die Dove Harle. Sie vertieft sich schnell und fungiert immer mehr als Hauptrinne. Dadurch gefährdet sie die Insel erheblicher als vorher das Gat. Die Gefährdung wird noch durch den Umstand vergrößert, daß sie wegen ihrer deutlicheren N-Ausrichtung den Riffbogen stärker vom nordwestlichen Strand abhält. Die ostwärtige Verlagerung der Gatrinne einschließlich der Dove Harle beträgt von 1850 bis 1940 insgesamt fast 900 m.

Als 1938/40 zur Harle-Stabilisierung und Inselsicherung die Buhne H etwa 1,5 km WSW-wärts verlängert wird (LÜDERS, 1952), findet - anders als nach allen vorherigen Maßnahmen zur Sicherung des Westkopfes - die Einwirkung des östlichen Platenteils auf das Gat und damit auf den Wangerooger Inselsockel ihr Ende. Die Gatrinne vertieft und erweitert sich wieder (heute: etwa 30 m tief, 2,6 km breit). Außerdem weicht sie von N aus leicht auf NzW bis NNW, was wiederum positive Folgen für den Wangerooger Strand hat. Die Dove Harle bildet sich gleichfalls zurück.

3.1.5.3 Die Auswirkungen der Harle-Stabilisierung

Wie wirkt sich die Stabilisierung des Gats auf die Entwicklung der jungen Sockelplate aus?

Ihr Vorrücken nach O endet endgültig und damit jede weitere Ausdehnung des gesamten Ostplate-Komplexes in diese Richtung. Da die Gatrinne am Ostrand des Platenkopfes entlang führt, werden alle Erweiterungen vom Ebbestrom in kürzester Zeit rückgängig gemacht. Es spielt keine Rolle, ob es sich dabei um Wachstum primär auf der Grundlage

1. von abgesetztem Flutstrommaterial aus der strand- bzw. inselparallelen Versatzbahn handelt oder

2. von Flugsand, der direkt vom Strand bzw. vom Rücken der jungen Plate oder der westlich vorausgehenden Platengebiete herangeführt wird.

Selbst die normale Abrasionswirkung des Stromes erreicht hier solchen Umfang, daß sich der Platenrand überdurchschnittlich aufsteilt: Die Gesamtneigung ist mit 2,7 % mehr als fünfmal so groß wie die im Bereich des mittleren Nordstrandes (Abb. 92).

Noch steiler fällt der Platenrand nach SO und SSO ab. Dort verläuft die Restform der Hm-Rinne (= heute Muschelbalje bzw. - fälschlicherweise - Alte Harle genannt) unmittelbar an der Plate entlang. Sie ist die einzige wichtige, strömungsstarke Rinne im meerseitigen Teil des kleinen Harle-WTw und richtet sich in ihrem Unterlauf auf NzO bis fast N aus. Daß sie erst fast zwischen der Plate und Wangeroog im spitzen Winkel in die Harlerinne einmündet, trägt dazu bei, daß sich diese nicht mehr auf NW ausrichtet und damit noch stärker gegen die Platenspitze vorschiebt. Sie übt also einen deutlichen Gegendruck aus und arbeitet somit dem Stabilisierungseffekt der Wangerooger Buhne H auf die Gatrinne entgegen (Abb. 93 u. 94).

Jenes Sockelmaterial, das bei momentaner gatwärtiger Ausdehnung der Ostplate sofort vom ablaufenden Strom abradiert wird, und jenes Flutstrommaterial, das gar nicht erst zum Niederschlag kommt, dienen aber doch der positiven Platenentwicklung: Sie fördern das Breitenwachstum in erheblichem Umfang. Dieses bleibt nämlich trotz der Harle-Stabilisierung nicht nur bestehen, sondern vergrößert sich ihretwegen sogar noch. Betroffen sind a. die nördlichen und b. die südlichen Platenabschnitte:

zu a.: Auf der Seeseite wird im Rahmen des strandparallelen Materialversatzes zum jungen Platensockel - wie vorher und noch gleichzeitig zu den westlichen Platenteilen - Sand aus der Anlandungszone des Riffbogens herantransportiert. Hinzu kommt die Zufuhr direkt aus der Wanderbahn unter der Insel, in der das nicht endgültig angelandete Material bewegt wird. Unter der Stauwirkung des ausströmenden Wattwassers sedimentiert dieses Material zeitweilig weitflächig vor dem N- bis NO-Rand der jungen Plate, bevor es das Harlegat umwandert. Teile davon werden - zusammen mit dem seewärts bewegten Abrasionsmaterial - vom inselnächsten Flutstromast auf dem Wege über die normalen Strandströmungen angelandet; sie kommen damit gleichsam im letzten Augenblick vor dem Verschwinden aus dem Bereich Spiekeroogs dem Inselauf- und -ausbau zugute.

Sie werden in diesem Sinne wirksam, indem sie sich am Auffüllen jener beiden kleinen Rinnen beteiligen, die als letzte östliche Überbleibsel der ausmündenden Hw von 1750 bisher das Wachstum der jungen Sockelplate in Richtung See und Watt eingeschränkt haben. Betroffen ist vor allem die nördliche Rinne; sie verschwindet ganz. Die südliche bildet sich nur langsam zurück, weil sie immer noch - als westlicher Ausläufer der Hm-Restform - die Be- und Entflutung des nordwestlichsten Teiles vom Harle-WTw unmittelbar im Lee der Platenostspitze besorgt.

zu b.: Weitere Teile des aufgestauten Materials werden am Abrasions-

Abb. 92

Abb. 92: Ostspitze der Ostplate: Abfall des abradierten Platenrandes zur Harle (Niedrigwasser, Blick NO auf Wangerooger Westkopf)

Abb. 93

Abb. 94

Abb. 93: Steilabfall des östlichen Platenrandes zur Muschelbalje in Höhe ihrer Einmündung in die Harle. Im Mittelgrund: nördliche Teile der Martensplate (Niedrigwasser, Blick OSO)

Abb. 94: Trockengefallene Einmündung der Hw-Restform in die Muschelbalje (Niedrigwasser, Blick SO)

hang entlang durch das Gat befördert. Soweit sie der Ebbestrom nicht zurückführt oder sie tief ins Watt hinein gelangen, bewirken sie eine hakenförmige, wattgerichtete Erweiterung der östlichen Platenspitze.

An der Hakenbildung ist neben

1. dem Sand aus der Stauzone

2. das Material aus dem Strandversatz beteiligt: Es verliert beim Umbiegen in Richtung SO und dann nach S zunehmend seinen Antrieb und schlägt sich nieder. Unterstützt wird es dabei vom fast frontal setzenden Unterlauf der Hm-Restform und vom südlichen Hw-Rinnchen, das seine Bewegung kreuzt.

3. Anteil hat auch der Flugsand. Da der weitgestreckte Gesamtstrand von Insel und verbundenen Sockelplaten ein großes Materialreservoir darstellt, ist er bei strandparallelen oder auflandigen Winden durchweg sehr umfangreich.

Daß die Hakenbildung im vorliegenden Umfang weitgehend im Zusammenhang mit der Harle-Stabilisierung steht, zeigt der Vergleich zwischen dem Zustand des äußersten Platenteils kurz vor und später nach der Verlängerung der Buhne H:

> Auf dem Luftbildplan Spiekeroog von 1938 verfügt die Ostspitze über eine nach O ausgewölbte, zungenartige Form. Ihr Rand verläuft vom Meer in weitem Bogen nach SO und S. Vom Umbiegen an ergibt sich in Höhe von MTnw ein N-S-Ausmaß von knapp 250 m.
>
> Der Luftbildplan von 1960 läßt einen scharfen Knick im Strandverlauf genau in Verlängerung der Buhne H erkennen (Abb. 65): Der Strand verfügt bis zu diesem Punkt über eine Längsausrichtung nach OSO, danach setzt er sofort nach S und in seinem wattseitigsten Teil nach SzW. Vom Knick an mißt der Haken in der Länge etwa 500 m (bei MTnw). Er hat sich gegenüber 1938 also beträchtlich ausgezogen. Im mittleren Abschnitt ist er gut 200 m breit.
>
> Seine eindeutige Hakenform resultiert aus dem Umstand, daß jetzt nicht nur ein Ausweitungsstop in Richtung O besteht, sondern auch von dort her eine Gegenwirkung ausgeht, unter der der östliche Platenrand im Hakenbereich (in Höhe des Knicks) unter Aufsteilung und Aufhöhung um ungefähr 100 m nach W zurückverlegt worden ist. Daran ist auch die Hm-Restrinne beteiligt, denn sie schwenkt unter den veränderten Gegebenheiten im Gat von NO auf ihre heutige Ausrichtung nach beinahe N um.

Daß sie in dieser Ausrichtung beharrt, ist aufgrund der Lage und Größe ihres Einzugsgebietes zu vermuten. Sie kann also jetzt, wie gesagt, das weitere Umschwenken der Gatrinne auf NW verhindern und somit die Ostspitze der Plate zu stabilisieren helfen. Daraus folgert aber auch, daß sich das südostwärtige Wachstum der Ostspitze insgesamt und die Hakenverlängerung im besonderen nur langsam fortsetzen. Ein etwas grösserer Sprung tritt erst wieder ein, wenn die kleine südliche Rinne aus dem ehemaligen Mündungsbereich der Hw durch Sandeinwehung von W bis N und Schlickfall von SW bis S her aufgefüllt sein wird. Zumindest im Oberlauf sind deutliche Tendenzen dazu festzustellen.

3.1.5.4 Der Zustand der "reifen Strandinsel Ostplate"

(= gegen Ende der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts, Abb. 95)

Neben dem verstärkten Breitenwachstum der jungen Sockelplate am Ende des 19. und in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts schreitet die weitere Entwicklung der älteren Platenabschnitte langsam voran. Sie ist durch eine allmähliche Aufhöhung besonders jener Vertiefungen bestimmt, die noch oberflächig zwischen den vereinigten Sockeln oder im ehemaligen Ausmündungsgebiet der ständig wasserführenden Rinnen bestanden, jetzt aber schon lange in den MTnw-Bereich emporgewachsen sind.

Die stärksten Auffüllungs- und Aufhöhungsvorgänge werden nicht mehr allein vom transportintensiven Wasser überdurchschnittlich hoher Fluten vorgenommen, das besonders auf den am meisten erhöhten Strand- und Platenteilen brandet und viel Material - teilweise mit nivellierendem, gleichmäßig aufhöhendem Effekt - entfernt, aber noch mehr niederschlägt. Stärker als früher tritt jetzt der Wind als ebenso bedeutsamer Gestaltungsfaktor in Erscheinung.

Die Lage der Anlandungszone des Riffbogens begünstigt diesen Umstand, denn sie befindet sich infolge der vorausgegangenen langfristigen Verlagerung nach O nun zwischen dem Herkunftssektor der nach Zahl und Verfrachtungskraft dominierenden westlichen bis nordwestlichen Winde. Alle Platenteile einschließlich der schlickigen Übergangszone zum Inselwatt hin unterliegen deshalb ständiger Materialzufuhr. Diese übertrifft den Entzug um das Zigfache, weil selbst die ebenfalls häufigen verfrachtungsstarken Winde des südwestlichen Sektors, die hierfür im Grunde als einzige in Frage kommen, nur bedingt abbauend wirksam werden können:

a. Das Dünengelände des alten Inselteils mindert ihren negativen Einfluß: Es übt für die inselnahen, westlichsten Platenabschnitte eine Schutzfunktion aus. Das ist für die Platenentwicklung und das Ostwachstum des Dünengeländes selber besonders bedeutsam; hier haben sich nämlich erhebliche Sandmengen eingestellt (Abb. 96 u. 97):

   1. Durch die westlichen bis nordwestlichen Winde wird vom Nordstrand her um die platenseitigen Randdünen herum Sand herangeführt, um sich dann im Strömungsschatten ihrer östlichen Ausläufer niederzuschlagen.

   2. Vom inzwischen sehr langen Strand der Gesamtplate bzw. aus ihrem Zentrum kommt unter Einwirkung nördlicher bis östlicher Winde Sand heran und staut sich vor den Dünen auf.

   Teile des Materials driften weiter nach S und ziehen die Randdünen hakenartig aus (Abb. 98 u. 99). Damit wird die Entwicklung fortgesetzt, die seit Mitte des 17. Jahrhunderts für die SO-Ecke des alten Dünengeländes charakteristisch ist und oben (Kapitel 3.1.3) für den Zeitraum von 1650 bis 1750 dargestellt wurde. Im Gegensatz zur frühen Entwicklungsphase ziehen sich die Haken nun weniger nach SW und WSW aus. Grund: Die starke Hellerbildung im

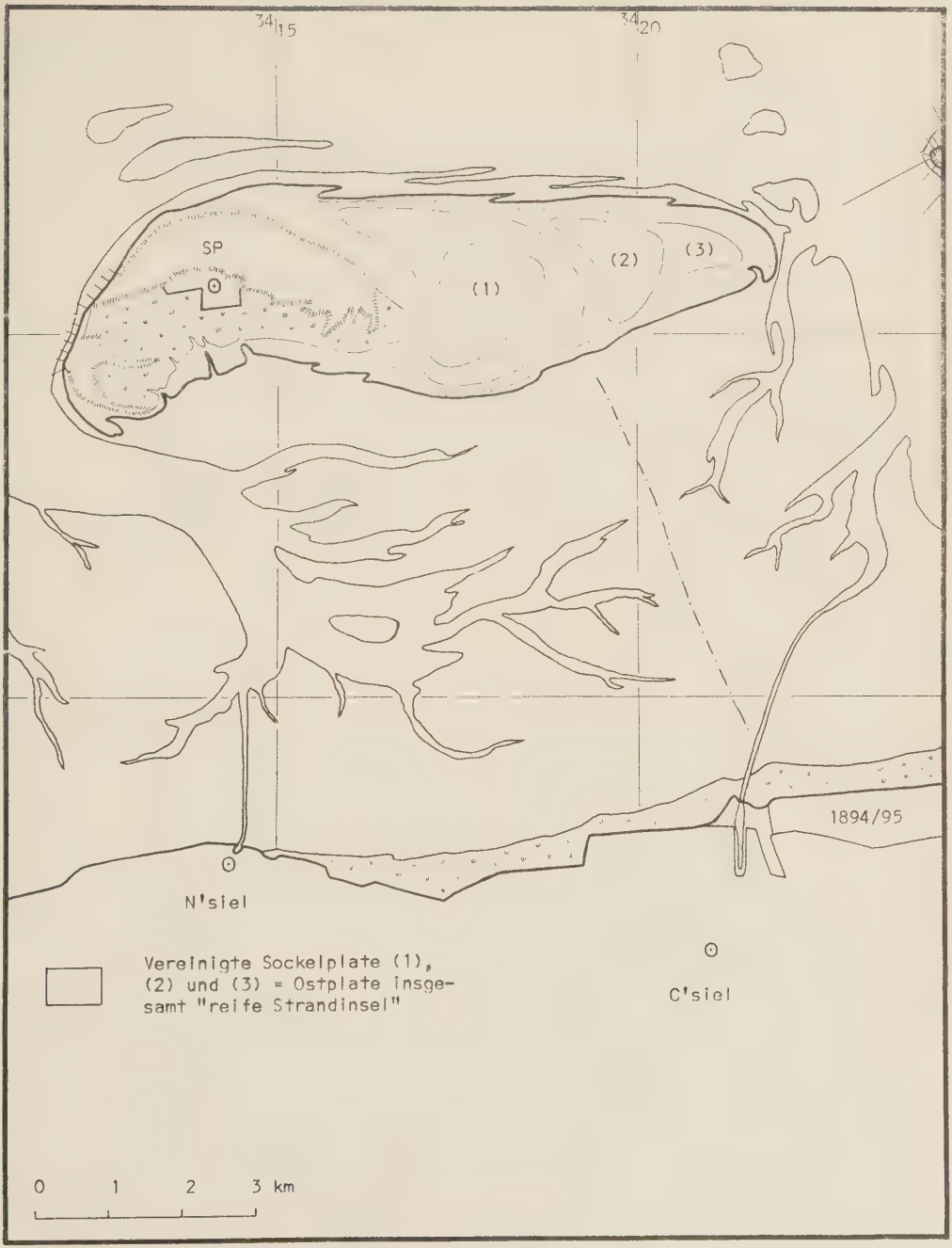


Abb. 95: Zustand der Ostplate um 1940

Verlandungsgebiet vor dem südöstlichen Rand des alten Inselteils verhindert, daß bei Ostwindlagen weiterhin das Material aus NW und N sowie jenes vom südwestlichen Platengebiet aufgenommen und zu voluminösen Dünenzügen akkumuliert werden kann.

Über die Entstehung und Ausrichtung der jungen SO-Haken sowie das NO- bzw. O-Wachstum des materialbegünstigten platenseitigen Dünenrandes, das mit der Hakenbildung in Zusammenhang steht, informiert Abb. 100.

b. Gelangt trotzdem von hier oder von den ungeschützten Platenteilen Material seewärts, kann es im Rahmen des inselparallelen Versatzes und auf dem Wege über eine erneute Anlandung der Plate erhalten bleiben.

Die ständige Materialanwehung und die periodische Zufuhr durch überdurchschnittlich hohe Fluten erzeugen im seeseitigen Teil eine Platenoberfläche, die nur noch stellenweise die einzelnen Sockelteile erkennen läßt: Es liegt nun eine weite trockene Strandfläche mit mehr oder weniger deutlichen Aufhöhungszonen vor. Diese ragen aber in der Regel nur wenig über das Gesamtniveau hinaus. Die MThw-Linie springt seit etwa 1850 am Inselrand um 4 km und im - schon vorher durch starkes ostwärtiges Höhenwachstum begünstigten - zentralen Teil um gut 3 km nach O und erreicht damit in voller Breite das Gebiet des jungen Platensockels.

Von See her erfolgen Überflutungen nicht mehr auf so breiter Front wie früher. Stärker als um die Mitte des 19. Jahrhunderts besteht hier ein zusammenhängender nasser Strand. Er beginnt als Verlängerung des alten NW-Strandes im N der eigentlichen Insel und setzt sich - mit nur leicht differierender Breite, Neigung und Strandwallbildung - fast gradlinig ostwärts bis zum Harlegat fort. Nur wo die anlandenden Bogenriffe mit ihrem westlichen Teil in den Strand aufgehen, bilden sich, gleichsam als Verlängerung der Strandpriele, Rinnen unterschiedlicher Breite und Tiefe aus. Sie dringen tief in das Platengebiet vor und stehen dort stellenweise mit den wattseitigen Prielsystemen in direkter Verbindung.

In den südlichen Platenteilen wird die Aufhöhung zur weitgehend gleichmäßigen Zone ohne den Charakter einzelner Sockel, die auf der wind- und brandungsbedingten Materialzufuhr beruht, vom Watt her durch weitflächigen Schlickfall unterstützt. Die Ausläufer des auflaufenden Wassers dringen hier von SW her aus dem nordöstlichen Abschnitt des WTo der Otzumer Balje und von SO her aus dem nordwestlichen Abschnitt des WTw der Harle vor, und zwar zunächst in die sehr gefächerten Prielsysteme. Diese schneiden den Rand der Gesamtplate an vielen Stellen und schieben sich noch weit nordwärts vor. Zwischen ihnen liegen leicht aufgehöhte Zonen, die nach N hin sanft ansteigen und nur von Fluten deutlich über MThw erreicht werden.

Am ausgeprägtesten sind sie an jener Stelle, wo das nördliche Ende der Wattwasserscheide zwischen dem System der Otzumer Balje und der Harle auf die Plate hin ausläuft. Von dort dehnen sie sich nach S und SW bis ins Watt im Lee des östlichen Teils Spiekeroogs aus, wobei die Priele wattwärts zurückverlegt werden. In den dreißiger Jahren ragt die MThw-Linie knapp 2 km westsüdwestlich des platenseitigen Endes der Scheide bereits

Abb. 96

Abb. 97

Abb. 96: Sandstau vor den NO-Randdünen des westlichen Inselteils. Lieferanten: nordwestliche Winde (vom Nordstrand), östliche Winde (aus den Materialreservoiren der Ostplate)

Abb. 97: Überdurchschnittlich große Sandzufuhr führt im Vorfeld der NO-Randdünen Spiekeroogs zur raschen Strandaufhöhung. Folge: Platenwärtiges Dünenwachstum (Blick SSO)

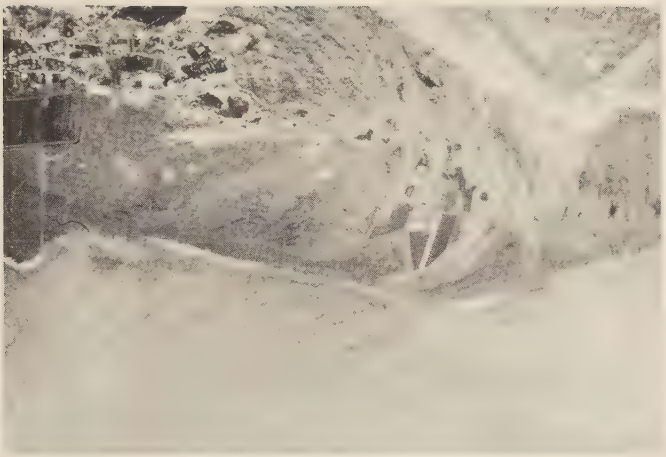


Abb. 98

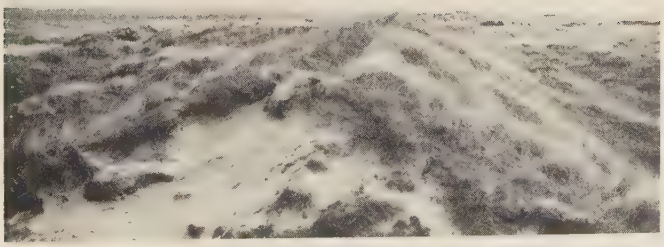


Abb. 99

Abb. 98: Verbreitungsgebiet der SO-Haken: älteste Haken im Inselhelle westlich der Lietz-Schule, jüngste Bildungen östlich davon im frischen Platenhelle

Abb. 99: Platenseitigster (= jüngster) SO-Haken (Blick nach S)

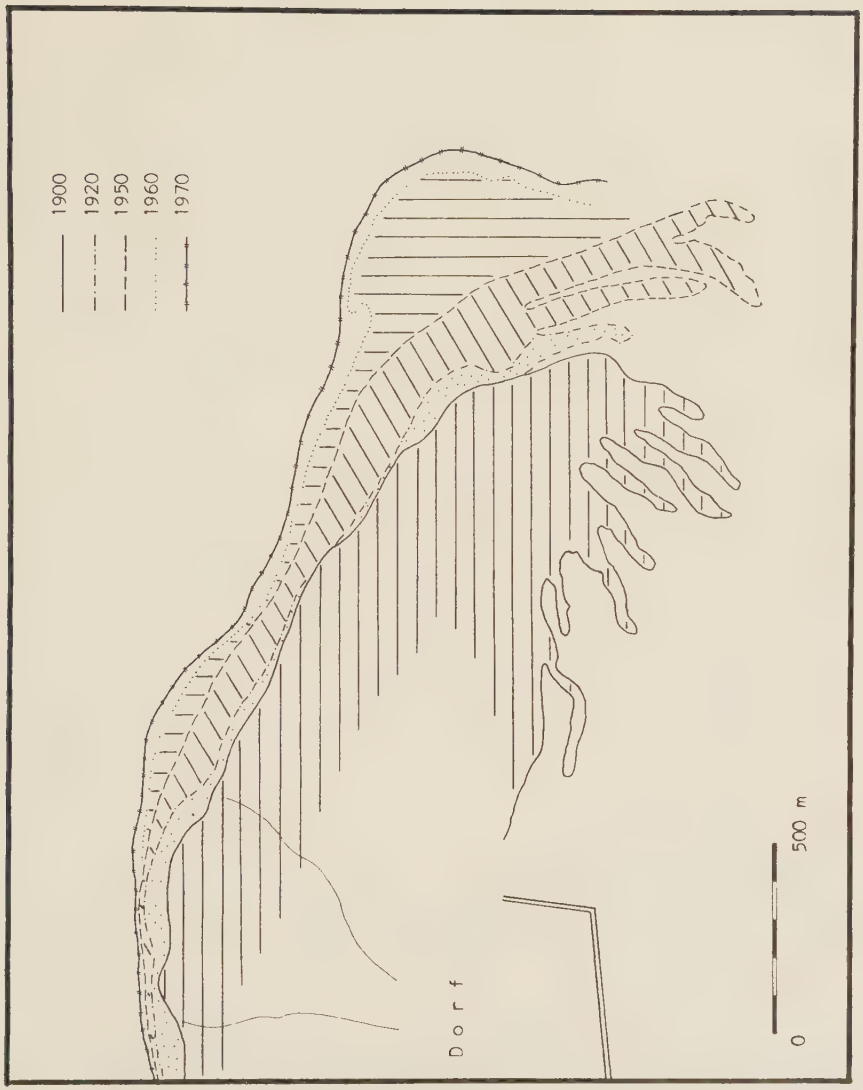


Abb. 100: Platenwärtiges Wachstum und Hakenbildung der östlichen Dünen des alten Inseltells

um 0,4 km weiter nach S als der Wattrand des östlichen Inselhellers. Etwa hundert Jahre früher verlief die Linie noch 1,4 km nördlicher im Bereich des frühen Platensockels.

Die Ausdehnung zum Harlewatt nimmt eine andere Ausrichtung. Sie ist mehr auf OSO als auf S orientiert: Die östlichen Abschnitte der ursprünglich alten und die östlichen der ursprünglich mittleren Sockelplate dehnen sich unter Aufhöhung dorthin aus und geraten dabei - von den Prielen an ihrem Standort abgesehen - aus der Einwirkung der periodischen Überflutung heraus. Die MThw-Linie verlagert sich infolge dieser Entwicklung vom Zentrum der Gesamtplate seit 1850 um etwa 2,5 km nach OSO und schließt weite Teile des südwestlichsten Abschnitts der jungen Sockelplate mit ein.

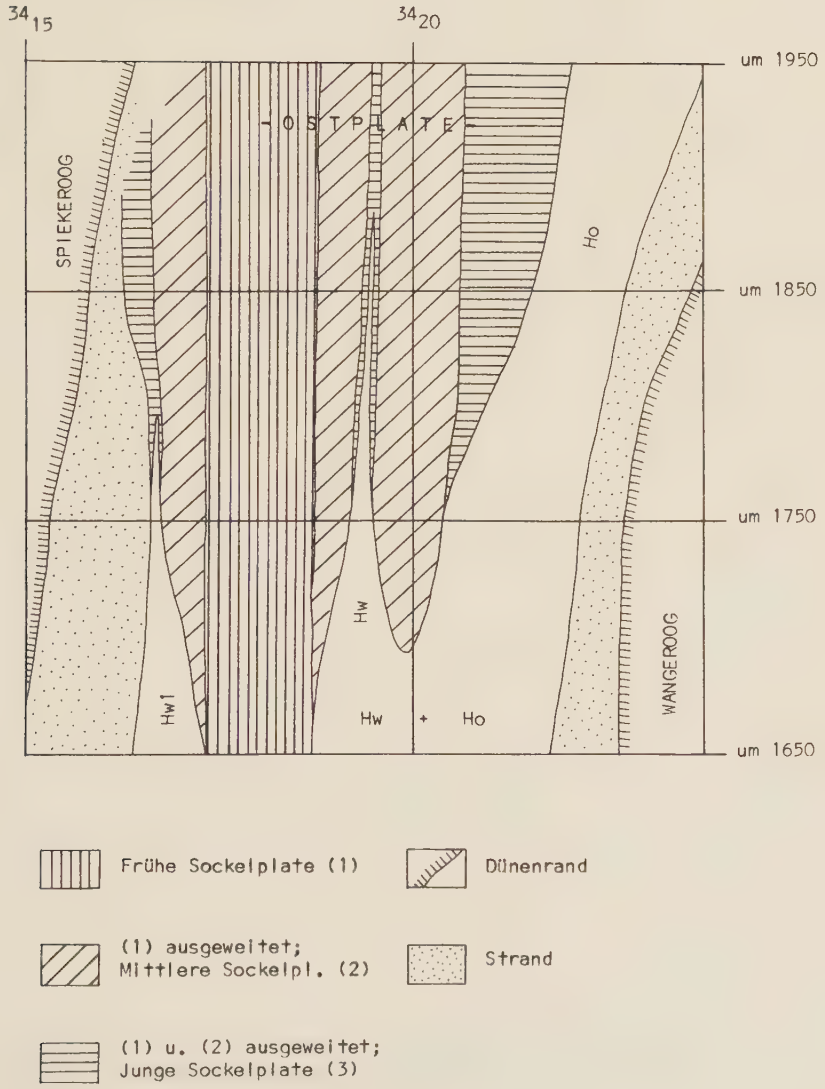
Daß sich der wattseitige Platenrand im Gebiet des Scheide-Auftreffens und vor allem östlich davon nicht so weit südwärts vorschiebt wie weiter westlich (Unterschied im äußersten südlichen MThw-Verlauf: 1 km) hat folgende Ursache: Wie im Zusammenhang mit dem wattwärtigen Wachstum der jungen Sockelplate dargelegt wurde, setzen die am Ostende der Plate gatwärts führende Hm und ihre kleine Nebenrinne (= östlicher Hw-Rest), die das Ende auf der Wattseite gestaltet, allen Ausweitungsbestrebungen auf längere Sicht Grenzen.

Bedingt durch die unterschiedlich weite Ausdehnung nach S nimmt die "Strandinsel Ostplate" am Ende ihrer Entwicklung in Höhe von MThw und leicht darüber gleichsam die Form eines spitzwinkligen Dreiecks an, das auf der Ecke C steht: Die dem Watt zugekehrte Seite b (Länge gegen Ende der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts: etwa 4,5 km) verläuft nach ONO zum Harlegat hin und bildet dort mit der W-O-orientierten Seeseite c (Länge: etwa 5,5 km) einen Winkel um 35°. Die Seite a (Länge: um 3 km) markiert den Übergang zwischen dem östlichen Teil der eigentlichen Insel und den westlichsten Platenabschnitten und richtet sich ungefähr nach SSO aus. Von den randlichen Prielen abgesehen, beträgt das weitgehend MThw-sichere Platengebiet daher insgesamt ungefähr 11 qkm (heute etwa 12,5 qkm).

Die geschilderten Zustände zeigen, daß die heutige Ostplate aus drei unterschiedlich alten Sockelplaten hervorgeht. Sie entstehen ursprünglich weitgehend individuell, wachsen dann aber - nach horizontaler und vertikaler Ausweitung - dem Alter entsprechend zusammen; dabei wird das Ausmündungsgebiet des Harlesystems erheblich verändert (Abb. 101, Zeit-Weg-Plan).

Die Ostplate ist also nicht primär und nicht allein durch ein Ostwachstum Spiekerooqs während der letzten 100 bis 150 Jahre angelegt worden. Ihre Bildung beruht vielmehr auf einer Entwicklung, bei der das Verhalten der Insel nur einen Faktor darstellt. Er wird in Abhängigkeit und im Zusammenspiel mit allen anderen Faktoren wirksam, die an der Sockelbildung unmittelbar oder mittelbar, sofort oder mit zeitlicher Verzögerung, beteiligt sind. - Das Wirkungsschema in Abb. 102 versucht, ihre Position zueinander zu verdeutlichen.

Abb. 101: Die Entwicklung der Ostplate (Zeit-Weg-Plan)



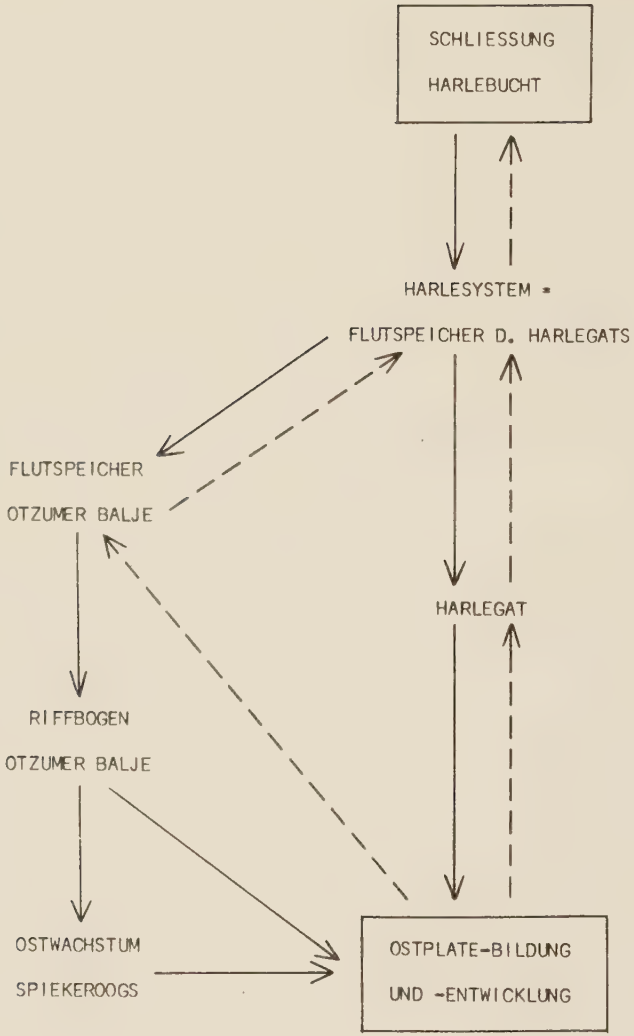


Abb. 102: Wirkungsschema der Schließung der Harlebucht/ Ostplate-Bildung und -Entwicklung (bis zum Reifestadium "Strandinsel")

3.2 Die Entwicklung der "Düneninsel Ostplate"

3.2.1 Das Ausgangsstadium

Nachdem die Ostplate weitgehend über die MThw-Linie emporgewachsen ist, treten zunächst zwei Gruppen physikalischer Dünenbildung auf:

die 2-Faktoren-Dünen

die unbeständigen 3-Faktoren-Dünen

Die Formen vor allem der ersten Gruppe haben zwar schon vorher auf den am höchsten aufragenden Stellen der Sockelplaten bestanden, aber - wegen der begrenzten Größe des Standortes und der Materialquellen - längst nicht solche Häufigkeit und Ausmaße erreicht wie die jetzigen. Diese sind außerdem im ganzen langlebiger. Abgesehen vom Wind, dem sie primär ihre Entstehung verdanken, und der sie - wenn er seine Richtung auffällig ändert - auch verhältnismäßig schnell wieder zerstören oder zumindest umlagern und damit ihre ursprüngliche Form ebenfalls weitgehend vernichten kann, ist hier die Einwirkung der abbauenden Kräfte des Wasser viel weiträumiger und länger ausgeschaltet: Falls es sich nicht um niedrig gelegene Anhäufungen handelt, führen erst Fluten deutlich über MThw ihre Zerstörung herbei.

3.2.1.1 Die 2-Faktoren-Dünen

Sie stellen sich auf der gesamten Plate oberhalb von MThw ein. Am häufigsten sind sie aber in deren nördlichen Teilen, weil dort die Sandzufuhr am größten ist:

a. die "Materialquelle nasser Strand" liegt nahe, und in Verbindung damit:

b. die leicht strandparalleien bis auflandigen Winde dominieren.

Wenn sie gelegentlich auch im Bereich des oberen nassen Strandes auftreten, durchlaufen sie nur das erste Entwicklungsstadium bzw. kommen sogar nur als Vorformen zustande, denn sie können maximal sechs Stunden wachsen. Daher unterscheiden sie sich ganz erheblich von den Gebilden, die - vor allem wenn sie deutlich über MThw liegen - sich über sehr viel längere Zeiträume hinweg entfalten und ein stärkeres horizontales und vertikales Wachstum mit verschiedenen Formen der Weiterbildung erfahren.

3.2.1.1.1 Die Zick-Zack-Streifen

(einschließlich ihrer Vor- und Folgeformen)

3.2.1.1.1.1 Der Vorgang der Streifenbildung

Die Streifen enstehen nicht sofort als fertige Gebilde, sondern setzen sich aus vielen V-förmigen Teilen zusammen, die sich mit dem Wind öff-

nen. Diese kommen ebenfalls nicht gleich als Einheit zustande; sie verdanken ihre Form vielmehr zeitlich aufeinander folgenden Akkumulationsvorgängen, an deren Anfang fahnenförmig ausgezogene Anhäufungen stehen. Als Grundelemente der Streifen fungieren also:

1. fahnenförmig ausgezogene und - infolge weiteren Materialniederschlags -
2. V-förmige Akkumulationsgebilde

a. Ausgangsstadium: Sandfahnen

Die Materialanhäufung, durch die die Streifenbildung eingeleitet wird, kommt aufgrund der Vorgänge an der Grenzschicht der Luftströmungen über der Strandfläche und ihren Stabilitätsgesetzen zustande (PRANDTL, 1956; SCHLICHTING, 1958; PRECHTL, 1965). Mit zunehmender Windgeschwindigkeit vergrößert sich die Mächtigkeit der besagten Schicht, weil - vor allem wenn die überströmte Strandfläche trocken ist und daher über eine geringe Rauhigkeit verfügt - immer mehr Körner vom Boden losgerissen und in Bewegung gesetzt werden. Infolgedessen nimmt auch ihre Instabilität zu. Es folgt schließlich nach dem Erreichen einer Grenzschleppkonstanten das Einrollen der Schicht und die horizontale Wirbelbildung, die zur Ablagerung eines Teils der verfrachteten Materialmenge führt.

Die Ablagerung erfolgt in Form von leeseitig ausgezogenen Sandfahnen, und zwar mehr oder weniger auf einer Linie und in großer Dichte. Die Fahnen zeigen den Bildungsbeginn eines ersten Streifens an. Sie können einige Dezimeter breit und mehrere Meter lang sein; ihre Ausmaße richten sich primär nach der Windgeschwindigkeit: Sie sind umso größer, je stärker der Wind weht (Abb. 103).

Das Einrollen führt ein Absinken höherer Luftschichten herbei. Das hat eine erneute Aufnahme von Körnern aus der Strandfläche windabwärts hinter den ersten Gebilden zur Folge sowie anschließend eine erneute Mächtigkeitsvergrößerung und somit wieder die Instabilität der Schicht. Da der Sand ja über eine große Trägheit verfügt und mit einem hohen Impuls ausgestattet ist, kommt es trotz der zunehmenden Wirbelbildung und dem damit verbundenen Erlahmen des Transportvermögens der Strömung aber nicht zum sofortigen Materialniederschlag. Die beim Zustandekommen der ersten Formen noch nicht abgesetzten und die anschließend in Bewegung gebrachten Körner häufen sich - wiederum teilweise - erst in einem gewissen Abstand hinter den frühesten Gebilden auf: Die Grundelemente der eines zweiten Streifens liegen vor.

Über der anschließenden Strandfläche stellen sich die beschriebenen Vorgänge in der gleichen Reihenfolge ein, so daß es noch einmal zu einer Anhäufung in Gestalt von fahnenförmigen Gebilden kommt: Die Ausgangsformen eines dritten Streifens entstehen. - Damit nicht genug: Solange der Zustand des überströmten Gebietes sich nicht verändert und der Wind in morphologisch wirksamer Stärke weht, findet die Anordnung immer neuer Sandfahnen statt und daher der dauernde Bildungsbeginn von Streifen.

b. Zwischenstadium: V-förmige Bildungen

Der zweite Abschnitt der Streifenbildung tritt ein, wenn sich jüngere, windabwärts versetzte Anhäufungen gleichsam als ausgezogene Flanken beiderseits der Fahnen einstellen (Abb. 104 - 106).

Beim Überströmen einer Fahne und der benachbarten Fläche ohne Materialanhäufung ergeben sich Differenzen in der Geschwindigkeit der bodennahen Luftschicht: Über dem Gebilde wird die Strömung viel stärker gebremst, weil sie hier eine größere Bodenrauhigkeit vorfindet als auf der Fläche ohne frische Akkumulation. Die windparallele Trennungszone (Lage: über den beiden Flanken der Fahne) sorgt dafür, daß der schnellere Strömungsabschnitt, der beim Passieren der Strandfläche im Fahnenluv - trotz der dortigen geringen Rauhigkeit - eine permanente Materialaufnahme erfahren hat und fast instabil ist, sich nun aufrollt. Er schlägt einen großen Teil des transportierten Sandes nieder. Die Störung der schnelleren Strömung wird allerdings nicht sofort, d. h. in Höhe der Fahne, wirksam, sondern läßt - wegen des Trägheitsvermögens der Körner - das Aufrollen und den Sandniederschlag erst in einem kleinen Abstand hinter dieser erfolgen. Die Akkumulationszone liegt also mit dem Wind versetzt, und daher kommen die flügelartig ausgezogenen Flanken zustande.

Da sich zwischen der primären Ablagerung und den sekundären Anhäufungen keine bzw. kaum Lücken ergeben, erhält das Gesamtgebilde eine V-förmige Gestalt; das zuletzt abgesetzte Material stellt die Abstriche des Vs dar, der zuerst entstandene Teil seine Spitze. Die Abstriche weichen deutlich von der Senkrechten, d. h. von der Wirkungsrichtung des Windes, ab. Der Winkel der Abweichung erreicht auf Spiekeroog im Mittel eine Größe von 20 bis 35 Grad. Je nach Windstärke und Oberflächenbeschaffenheit der Entstehungszone kann er jedoch auch größer oder kleiner sein. Abweichungen um weniger als 15 bzw. mehr als 50 Grad treten allerdings selten auf.

c. Endstadium: Zickzackförmig verlaufende Streifen

Da sehr zahlreiche derartig V-förmiger Gebilde entstehen, und zwar einmal ineinanderübergehend, ein andermal mit nur geringem Abstand, weil die gleich alten Fahnen ja jeweils fast auf einer Linie zustande gekommen sind, ergeben sich schließlich ganze Reihen aus V-förmigen Figuren. Die Reihenlänge richtet sich nach der Zahl der Vs; sie kann also beträchtlich sein (Abb. 107 - 109).

Wie die Entstehung ihrer Grundelemente erwarten läßt, treten die Streifen nicht als Einzelgebilde auf, sondern ordnen sich teilweise in großer Zahl mit dem Wind systematisch hintereinander an. Das geschieht häufig in fast gleichmäßigem Abstand. Treten keine deutlichen Veränderungen jener Faktoren ein, die den Bildungsprozeß veranlassen bzw. mitbestimmen, bleiben die Abstände - zumindest innerhalb eines Entstehungsgebietes und einer Bildungsperiode - ziemlich konstant. Die Größe der Intervalle läßt sich nur von Fall zu Fall genau angeben; sie schwankt zwischen einigen und vielen Metern. Fest steht freilich, daß sie bei Winden hoher Stärken ausgeprägter ist als bei solchen niedriger Geschwindigkeiten. Auf Spiekeroog kommen Intervalle zwischen 5 und 20 m zustande; der mittlere Abstand beträgt 10 bis 12 m.

Abb. 103

Abb. 103: Ausgangsfigur eines Streifens: leeseitig ausgezogene Sandfahne (N-Strand der Plate, Blick O)

Abb. 104

Abb. 105

Abb. 104: Zwischenstadium der Streifenbildung: V-förmige Akkumulationsfigur noch ohne Leehang (östliche Ostplate, W-Wind, Blick SSW)

Abb. 105: V-förmige Streifenvorform, Bewegung ist an abgewehter Standortfläche im Luv zu erkennen (nordwestliche Ostplate, W-Wind, Blick W)

Abb. 106

Abb. 107

Abb. 106: Ansammlung von V-förmigen Zwischenformen der Streifenbildung, vereinzelt bereits zu Streifen zusammengewachsen; SW-Wind, daher: Bewegungsrichtung NW = rechts oben (trockener Strand im Übergangsbereich zwischen Spiekeroog und Ostplate)

Abb. 107: Endstadium der Streifenbildung: Zick-zack-verlaufende Streifen aus V-förmigen Gliedern (östliche Ostplate, W-Wind, Blick ONO)

Abb. 108

Abb. 109

Abb. 108: Ausgereifter Streifenverband in leichter Bewegung (westliche Ostplate, SW-Wind, Blick SW auf NO-Randdünen des alten Inselteils)

Abb. 109: Streifen wandern vom oberen nassen Strand auf trockenen Strand auf (N-Strand der mittleren Ostplate, NW-Wind, Blick OSO)

Abb. 110

Abb. 111

Abb. 110: Rippelfreie Stellkante auf der Windseite einer Zackenspitze mit Wall und Furche (nordwestliche Ostplate, W-Wind, Blick NNW)

Abb. 111: Stark emporgewachsener Zackenrücken und wallartige Erhöhung (nordwestliche Ostplate, W-Wind, Blick S)

3.2.1.1.1.2 Die weitere Entwicklung der Streifen

Volumenzunahme:

Während es seitlich der primären Anhäufungen also zu mehr oder weniger deutlich windabwärts versetztem Materialniederschlag kommt, häuft sich weiterer Sand auf den Ausgangsgebilden selber an.

Über deren lockerer Oberfläche überschreitet der materialbeladene Luftstrom augenblicklich seine Stabilitätsgrenze, denn: Es werden nun plötzlich mehr Körner in Bewegung gebracht als zuvor. Die daraus resultierenden Vorgänge des Niederschlags setzen ein. - Die primären Gebilde dehnen sich also nicht nur horizontal unter Annahme der beschriebenen V-Form und durch Zusammenwachsen zu zickzackförmigen Streifen aus, sondern erfahren gleichzeitig eine in die Vertikale gehende Volumenzunahme.

Sie höhen sich immer mehr auf, wobei sie die mit der Spitze gegen den Wind gerichteten Zacken (= Treffpunkt der V-Abstriche) beibehalten. Diese fangen bei ununterbrochener Materialzufuhr den meisten Sand und bilden schließlich rückenartige Erhöhungen. Eine solche Bildung nimmt jeweils im luvseitigen Teil eines Zackens ihren Anfang, gewinnt allmählich an Höhe und erreicht im leeseitigen Teil, d. h. an der dem windabgewandten, der primären Sandfahne entsprechenden Stelle, ihre größte Mächtigkeit. Aber auch die Knicke (= Übergänge zwischen den V-förmigen Gebilden) zeichnen sich durch Wachstum aus; es bleibt allerdings merklich hinter dem der Zacken zurück (Abb. 110 u. 111).

Bei Streifen in einer Vertiefung im Lee des Strandwalls der nordwestlichen Plate, die im Frühjahr und Herbst 1971 untersucht wurden, betrug die Höhe der rückenartigen Abschnitte 20 bis 25 cm. Bei den Streifenzacken, die auf dem trockenen Strand der östlichen Ostplate (südlich bzw. südöstlich des Wracks "Verona") zur selben Zeit unter Einwirkung von Winden der gleichen Stärke und Richtung entstanden waren, konnte eine Höhe von 25 bis 30 cm festgestellt werden.

Die Knickstellen wiesen sowohl bei den Gebilden in der Vertiefung als auch bei denen der Ostplate eine um wenige Zentimeter geringere Mächtigkeit auf als die Zackenrücken: Sie hatten sich bei den Streifen des erstgenannten Gebietes auf 18 bis 20 cm verdickt, bei den Streifen der Plate sogar auf 20 bis 22 cm.

Die Mächtigkeitsdifferenzen lassen sich mit Unterschieden in der Sohlenrauhigkeit erklären: Da die Vertiefung kurze Zeit vor der Streifenentstehung leicht überspült worden war, verfügte sie - aufgrund des vom Wasser ausgehenden Verfestigungseffekts - über eine wesentlich verhärtetere Oberfläche als das höhere Gebiet der Ostplate. Die hochbeschleunigten Körner der bodennahen Strömung konnten somit im letzten Fall eine um das Vielfache größere Materialmenge losreißen und den anschließenden Niederschlag entsprechend steigern.

Der Leewirbel und seine Stauwirkung:

Auf dem Leewirbel basiert bei anhaltender Materialzufuhr die Umformung

der Streifen in mehr oder weniger barchanartige Gebilde, denn er verhindert die weitere Vergrößerung der Streifen über das Zentrum der V-förmigen Abschnitte und ruft stattdessen eine Ausdehnung ausschließlich über die Flanken hervor:

Der Wirbel tritt an der windabgekehrten Seite der Spitzen auf, die - wie gesagt - über einen sanft ansteigenden Hang verfügen, auf dessen höchstem Abschnitt sich der meiste Sand niederschlägt. Das geschieht, weil die hohe Rauhigkeit des lose angehäuften Materials den Akkumulationsprozeß beschleunigt. Überschreitet der Anhäufungsbereich eine bestimmte Höhe, so kann die Strömung das Gebiet im Rückenlee nicht mehr erreichen. Es bildet sich ein Windschatten, und in seiner Folge entsteht der Wirbel (Abb.

Die Frage, wie mächtig die Zackenrücken sein müssen, damit sich der Wirbel einstellt und für die Bildung einer leeseitigen Aufschüttungsböschung sowie ein verstärktes vertikales Rückenwachstum sorgt, läßt sich anhand von Beobachtungen beantworten:

> Da die besagten Streifen hinter dem Strandwall zunächst an keiner Stelle die Einwirkung eines Leewirbels erkennen ließen, darf angenommen werden, daß eine Höhe von 20 bis 25 cm (= Zackenmächtigkeit im vorliegenden Fall) noch nicht ausreicht, um eine Weiterentwicklung der Streifen herbeizuführen. Erst nach einigen Tagen, an denen der Wind zeitweise merklich an Stärke verloren und den Materialtransport verringert hatte, jedoch beinahe unverändert aus W gekommen war, zeigten sich erste Strukturveränderungen. Sie traten vor allem an den am weitesten entwickelten Streifen auf und machten sich zunächst in Form von dellenartigen Vertiefungen im Lee der höchsten Rücken bemerkbar.
>
> Als der Wind dann mehrere Stunden lang auffrischte und eine Stärke von mindestens 5 Bft erreichte, nahm das Sandwehen merklich zu. Es bildeten sich im Rückenlee deutlich ausgeprägte Böschungen von einigen Zentimetern Höhe heraus, die sich als Folgeformen der dellenartigen Vertiefungen erwiesen. Die Höhenmessung lieferte zu diesem Zeitpunkt folgendes Ergebnis: Als am stärksten aufgehöhte Zonen traten weiterhin die Zackenrücken in Erscheinung; der hier angehäufte Sand verfügte über eine Mächtigkeit von 30 bis 35 cm.

Daraus kann geschlossen werden: Bei einer Streifenhöhe von mehr als 20 bis 25 cm und weniger als 30 bis 35 cm entstehen auf dem windabgewandten Abschnitt der Zacken Strömungsschatten und Wirbelbildung.

Das vom Wirbel niedergeschlagene Material häuft sich unmittelbar vor der oberen Kante des Leehangs auf und erhöht dadurch laufend den Zackenrücken. Oder es gerät über die Kante hinaus. Dabei erfahren die Körner einen unterschiedlich tiefen und weiten Fall; je schwerer und größer sie sind und je schneller die Strömung über den Rücken hinwegstreicht, umso weiter bewegen sie sich. Allerdings gerät nur ein Teil über den Hang hinaus; die meisten Körner fallen zunächst in seinem oberen Teil nieder, der dadurch eine größere Neigung zur Oberfläche des Standortes erhält als der Hangfuß. Hat sich so viel Sand niedergeschlagen, daß ein Grenzwinkel (etwa 35 Grad) überschritten wird, rutscht das überzählige Material ab, bis wieder die normale Böschung (25 bis 30 Grad) besteht.

In Verbindung mit dem Leewirbel tritt hier eine Gegenströmung auf. Sie verleiht dem aufgeschütteten Sand eine gewisse Stabilität und ist damit der morphologischen Wirksamkeit der Strömungsruhe ähnlich. Daß beide auftreten, macht deutlich: Dem Leehang wird so gut wie kein Material entzogen. Der Verlust, der dem Volumenzuwachs entgegenwirkt, kann nur im Bereich der Flanken der Streifen-Teilstücke wirksam werden.

3.2.1.1.1.3 Die Umwandlung der Streifen in Barchane und das Streifenwandern

Streifenauflösung:

Wie die im folgenden beschriebene weitere Entwicklung der Spiekerooger Streifen nach dem Auftreten der leeseitigen Aufschüttungsböschung zeigt, ist die Ansicht PRECHTLs (1965) zu bestätigen, wonach aus rhythmischen Streifen bei Ausbildung von Leehängen freie, instabile Dünen werden können.

Viele der Verbindungsstellen zwischen den V-förmigen Gliedern der Streifen, deren luvseitiger Abschnitt oben als Knick bezeichnet worden ist, sind gegen die ab- bzw. umbauende Einwirkung des Windes längst nicht so resistent wie die Zacken und ihre Flanken. Deshalb treten hier häufig Durchbrüche auf und damit der Beginn einer grundlegenden Umgestaltung der Streifen. Die Ursachen dieser Entwicklung:

Die Verbindungsstellen können nicht so viel Flugmaterial auffangen und deshalb ihr Volumen nicht in dem Maße vergrößern wie die Zacken und Flanken. Ihre Oberflächenrauhigkeit bleibt - wegen der von Anfang an geringeren Mächtigkeit des hier angehäuften Sandes - weit hinter deren Rauhigkeit zurück. Die Grenzschicht der passierenden Luft wird daher nicht so schnell überlastet und verliert entsprechend langsam ihre Stabilität. Das bedeutet: Materialniederschlag bleibt aus. Wenn die Aufhöhung eines Zackens nun so weit fortgeschritten ist, daß sich auf seinem RÜcken ein Leehang einstellt und das ganze V-förmige Streifenglied Barchancharakter gewinnt, wird die Winddrift über seine Flanken so stark, daß die Verbindungsstellen aufreißen.

Zur Streifenauflösung trägt auch der Umstand bei, daß die Glieder längst nicht überall zu einer Kette zusammengewachsen sind. Es bestehen also innerhalb der Streifen von Anfang an mehr oder weniger breite Lücken. Wie in den besagten Öffnungen an den wenig aufgehöhten Verbindungen liegt hier eine geringe Sohlenrauhigkeit vor. Der bodennahe Luftstrom passiert sie daher mit verhältnismäßig hoher Geschwindigkeit. Es konnte beobachtet werden, daß sich die Passagen verbreitern und vertiefen, denn es werden durch sie nicht nur Sandmassen verdriftet, sondern auch Körner aus ihrer Sohle gerissen:

Da der Luftstrom in der Passage hinsichtlich der Geschwindigkeit in deutlichem Gegensatz zu jenem über den beiden benachbarten Streifenrücken steht, bildet sich eine Trennungszone heraus, wie sie oben beschrieben worden ist. Sie tritt am Übergang zwischen den äußeren leeseitigen Abschnitten der Flanken und den Rändern der leeseitigen Öffnung der Passage auf. In ihr rollt sich die Grenzschicht der schnelleren, materialreicheren Strömung auf und schlägt reichlich Sand nieder. Die dabei herun-

tergezogene höhere Schicht füllt sich mit Sand aus dem leeseitigen Teil der Passage auf, so daß deren Vertiefung und Verbreiterung insgesamt also nicht nur der Aufhöhung der Flankenenden dienen; sie kommen auch dem Wachstum des windabwärts folgenden Streifens zugute.+)

Zusammenfassend ist festzustellen: Die Streifenauflösung wird dadurch gekennzeichnet, daß sich

1. die Öffnungen zwischen den V-förmigen Gliedern vertikal und horizontal erweitern und
2. die Flanken dieser Glieder immer weiter mit dem Wind ausdehnen.

Außerdem tritt der Zackenrücken nicht mehr als nur leicht aufgehöhte Anhäufungszone in Erscheinung; er ist vielmehr mit einem deutlich ausgeprägten Leehang versehen.+)

Die Verlängerungen der Flanken können bei unverminderter Windeinwirkung solche Ausmaße annehmen, daß sie auf die nachfolgenden Streifen auftreffen und somit eine Querverbindung ungefähr parallel zum Luftstrom herstellen. Derartige Verbindungen enden an den Flanken der folgenden Streifenglieder, weil diese in der Regel in der Strömungsrichtung der Luftmassen liegen, die durch die Öffnungen des windaufwärts befindlichen Streifens driften.

Wandern:

Bisher ist von den Streifen nur als von gleichsam lagestabilen Sandbändern gesprochen worden. Das ist nicht gerechtfertigt, denn sie und be-

---

+)
Es treten auch Barchane auf, die nicht auf Streifen und somit auf weitflächigen Sandreservoirs basieren, sondern sich windabwärts von begrenzten, mehr oder weniger punktförmigen Materialquellen von Anfang an isoliert entwickeln. Ihr hauptsächliches Verbreitungsgebiet liegt am Übergang zwischen den westlichsten Platenteilen und dem nordöstlichen Vorfeld der Dünenzone des westlichen Inselgebietes. Hier kommen zeitweilig mächtige, formlose Flugsandfelder zustande. Das geschieht unter Einwirkung

a. direkt oder schräg auflandiger Winde, deren reiches Material sich unter der Stauwirkung der Randdünen anhäuft, und/oder
b. von SW- bis W-Winden, von denen Sand aus dem bestehenden Dünengebiet ausgeblasen wird.

Selbst bei gleichen horizontalen Ausmaßen verfügen die isolierten Barchane gewöhnlich über eine geringere Flügelspanne als die auf breiter Front versorgten Gebilde im Streifenbereich. Erst wenn diese sich lösen, strecken sie sich mit dem Wind aus und entsprechen formal den Barchan-Figuren der ersten Gruppe (Abb. 112 u. 113).

sonders die daraus entstehenden barchanartigen Gebilde sind unter gewissen Bedingungen sehr instabil und verlassen den Platz, auf dem sie ursprünglich angehäuft wurden:

Passiert die bodennahe Strömung das Streifengebiet, verfügt sie über eine Materialanreicherung, die dem besagten Grenzschleppvermögen entspricht. Diese bleibt erhalten, selbst wenn über der sehr rauhen Streifenoberfläche die meisten oder gar alle transportierten Körner niedergeschlagen werden. Denn: Die höheren Luftschichten, die als Folge des Niederschlags heruntergezogen werden, erfahren ja über der leicht verfestigten Sandschicht der Zwischenräume eine ständige Materialaufnahme. Die luvseitigen Teile des jeweils nächsten Streifens unterliegen somit keinem Sandentzug. Das Gebilde ist an dieser Stelle also so lange lagestabil, wie die Sandzufuhr kontinuierlich erfolgt. Erst wenn weniger oder gar kein Material mehr herantransportiert wird und es der unteren Luftschicht an einer dem Grenzschleppvermögen entsprechenden Flugsanddichte mangelt, geraten die luvseitigen Teile in Abbruch.

Die maximale Materialzufuhr erlahmt vor allem bei rascher vertikaler und horizontaler Streifenvergrößerung, weil dadurch die Zwischenräume, die diese Zufuhr ermöglichen, immer mehr verkleinert werden. Mit dem Wachsen der Streifen wird also der Prozeß der Zerstörung der luvseitigen Teile und der Fortbewegung mit dem Wind bereits gleichsam ganz von selber und ganz automatisch heraufbeschworen. Der Zeitpunkt des Beginns rückt umso schneller heran, je weiter das Wachstum voranschreitet.

Wenn der Abbau an den luvseitigen Teilen einsetzt, ist der Zustand der Stabilität beendet. Die Streifen wandern von nun an windabwärts, und zwar jeweils durchweg als Ganze. Das gilt auch für die barchanartigen Gebilde, die bei der Auflösung von Streifensystemen entstehen, und die isolierten Barchane. Sie können sich über weite Strecken fortbewegen. Die Bewegungsgeschwindigkeit hängt von ihrer Größe ab: Figuren mit großem Volumen verlagern sich langsamer als solche mit kleinem. Nach PRECHTL (1965) ist die Verschiebung in einer Zeiteinheit umgekehrt proportional zur Höhe.

3.2.1.1.2 Die Zerstörung und ihre morphologische Bedeutung

Das Wandern und überhaupt alle Umgestaltungsvorgänge sind aber nicht uneingeschränkt gewährleistet, und zwar selbst bei Windrichtungskonstanz nicht: Bei Stärken deutlich über 8 Bft werden bei trockenem Wetter (Zum Verhalten feuchter bzw. z. T. feuchter 2-Faktoren-Dünen: GRIPP, 1961) alle Bildungen, die nicht durch Pflanzen festgelegt oder durch ein Hindernis wenigstens etwas fixiert sind, weitgehend abgebaut (Abb. 114 u. 115). Der Abbau ist als echte Zerstörung im Sinne einer Einebnung der gesamten Form unter gleichzeitigem Abstransport des Anhäufungsmaterials windabwärts zu verstehen. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Wind über die gleiche Ausrichtung verfügt wie bei der Anlage und Entwicklung der Gebilde. Wenn das der Fall ist, läuft die Zerstörung allerdings etwas langsamer ab. Das ist grundsätzlich auch bei besonders voluminösen Figuren so.

Wie der Abbau im einzelnen abläuft, läßt sich schwer ermitteln. Folgender Vorgang scheint aber zumindest bei den barchanartigen Anhäufungen der übliche zu sein:

Zuerst wird Material vom Luvfuß losgerissen und durch seitliche Verdriftung über die Flügel freigegeben. Etwas später setzt die schichtenweise Einebnung des Rückens ein. Das hier abgelöste Material geht ebenfalls über die Flügel oder über den Leehang verloren, der sich permanent überstellt. Die daraus resultierende Aufschüttungszone wird von seitlichen und - bei zunehmender Abflachung des Gesamtgebildes - auch direkt von den luvseitigen Strömungen abgebaut. In den windabwärtigen Teilen der Leebucht bilden sich Wirbel mit rückläufigen Strömungen aus, die nach der Seite hin erodierend wirken, indem sie für einen Sandentzug an den ausgezogenen Flügeln sorgen. Wenn die Leeböschung infolge der Höhenverminderung des Luvrückens zwar sehr steil, jedoch nicht mehr so hoch ist wie vor Einsetzen des stark beschleunigten Windes, führen sie eine teilweise Zerstörung des Luvhangs von den Innenseiten der Flanken her herbei.

Wird die Höhe von etwa 40 bis 30 cm unterschritten, geraten die Anhäufungen im ganzen in Abbruch, und ihr Material scheint nach allen windabwärtigen Seiten auseinanderzufließen.

Der Verbleib der gelösten Sandmassen ist von erheblicher morphologischer Bedeutung: Finden die Zerstörung und der Abtransport unter Einwirkung voll oder teilweise auflandiger Winde (= für den westlichen und nördlichen Platenbereich: westliche bis nordöstliche Winde; für den westlichen und südwestlichen Bereich: südwestliche Winde; für den östlichen Bereich: nördliche bis südöstliche Winde) statt, so kommt das Material der positiven Veränderung der zentralen Platenteile zugute. Je nach dem dortigen Entwicklungszustand dient es a. dem horizontalen oder b. dem vertikalen Wachstum.

a. Der Fall ist gegebenen, wenn noch keine dauerhaften Akkumulationsgebilde vorliegen bzw. die Begrünung erst stellenweise beginnt, wenn also der allgemeine weitflächige Aufhöhungsprozeß noch im Vordergrund steht.

b. Ist die Entwicklung bereits so weit fortgeschritten, daß auf breiter Front dauerhafte Dünen auftreten, macht sich eine punktuelle Aufhöhung bemerkbar, und zwar jeweils dort, wo die Sandmassen angeweht werden.

Beide Male sorgen sie aber für eine momentane, äußerst bedeutsame Begünstigung, denn sie sind wesentlich umfangreicher als der Sand, der sonst im gleichen Zeitraum und noch darüber hinaus unter Einwirkung von Winden geringerer, streifenbildender und -entwickelnder Stärken ankommt. Entsprechend sprunghaft schreiten die Vorgänge der Platenausweitung und -aufhöhung voran.

Einen starken Einfluß auf die Form- und Lagestabilität hat auch das Wasser; es darf bei der Gestaltung der 2-Faktoren-Dünen als zeitweilig wirksamer 3. Faktor angesprochen werden. Wie oft sein Einfluß auftritt, hängt von der Lage des jeweiligen Standortes zum mittleren Hochwasser ab: Die Häufigkeit und der Grad der Überflutung bestimmen, ob die instabilen Anhäufungen über kürzere oder längere Zeit hinweg ungestört bestehen, sich entwickeln und möglicherweise in stabile Gebilde übergehen bzw. diese zumindest durch Sandabgabe vergrößern.

Abb. 112

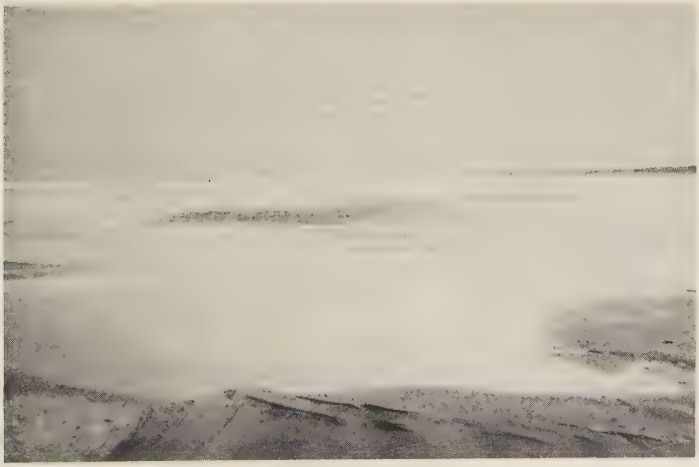


Abb. 113

Abb. 112: Einige Tage alter Barchan in Weiterbildung: Flügel mit Berippelung quer zur Windrichtung (westliche Ostplate, O-Wind, Blick N)

Abb. 113: Barchanartiges Akkumulationsgebilde, Vorgang der Aufhöhung und Flügelausweitung hält an (nordwestliche Ostplate, im Gebiet von Streifenresten: Zerstörung durch kurze, flache Überflutung; NO-Wind, Blick SO)

Abb. 114

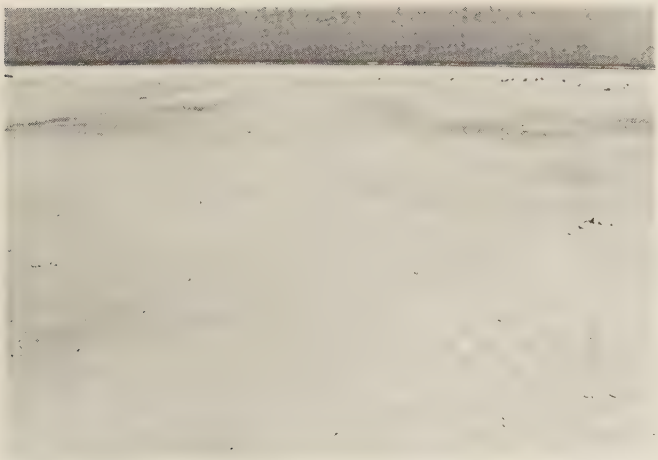


Abb. 115

Abb. 114/115: Zick-Zack-Streifen von drehenden Winden teilweise zerblasen und Reste dann von Regen fixiert (nordwestliche Ostplate, NW- und O-Wind, Blick N)

Als Entstehungsgebiet der am wenigsten beständigen und entwicklungsfähigen Anhäufungen (= periodisch überflutete Verbreitungsgebiete) kommt der nasse Strand in Betracht. Diese Gruppe macht 15 bis 20 % aller Vorkommen auf der Ostplate aus. Sie steht nicht nur nach der Zahl, sondern - wegen der Lage ihres Standortes - auch besonders nach der Bedeutung für die morphologische Entwicklung der Plate an letzter Stelle, denn diese Formen sind aufgrund ihres geringen Volumens zur massenweisen Materialabgabe ungeeignet:

Selbst bei heftigem Sandwehen auch vom trockenen Strand her erlangen sie nur eine unbedeutende Größe. Sie werden daher in der Regel völlig zerstört. Das gilt sogar weitgehend für jene mit Standorten fast an der MThw-Linie, wo die letzten, beinahe kraftlosen Wellen der Flutphase wirken. Nur die Basisteile, die etwas über das Strandniveau aufragen, weniger gleichmäßig gerippelt und teilweise mit Dellen versehen sind, können hier als Unregelmäßigkeiten im Erscheinungsbild des nassen Strandes zurückbleiben.

Wo Figuren vom nassen auf den trockenen Strand übergehen, wird die erodierende Einwirkung des Wassers sehr deutlich: Es schneidet sie an und bildet - je nachdem welche Teile der Anhäufungen betroffen sind - viele kleine und kleinste Zerstörungsformen. So können mehr oder weniger steile Kleinkliffs mit Brandungskehlchen und Abrutschhalden sowie rinnenartige, zur See offene Einschnitte mit vorgelagerten Aufschüttungsformen entstehen. Oberhalb der Flutmarke setzen sich die Gebilde inselwärts unbeschädigt fort.

Am häufigsten treten die instabilen Gebilde auf den unteren und mittleren Abschnitten des trockenen Strandes, d. h. in einer Höhenlage von wenigen bis mehreren Dezimetern oberhalb der MThw-Linie auf (= episodisch überflutete Verbreitungsgebiete). Dort können sie für ihre Bildung und Entwicklung einen Zeitraum von Wochen zur Verfügung haben. Voraussetzung ist allerdings,

a. daß die einzelnen Fluten die MThw-Linie nicht ständig erheblich übersteigen, sondern während mehrerer Flutstände hintereinander nur leicht an ihr hin und her pendeln und gelegentlich bis höchstens zur MSpThw-Linie auflaufen,

b. daß die Figuren nicht in den Vertiefungen im Lee der Strandwall-Durchlässe und den anschließenden Rinnen auftreten bzw. in sie hineinwandern. In beiden Fällen würden sie zwar nicht ganz so gründlich zerstört wie im Bereich des nassen Strandes, jedoch wenigstens teilweise beträchtlich abgebaut, und zwar unter Bildung ähnlicher - wegen des größeren Figurenvolumens allerdings ausgeprägterer - Abbruchformen (Abrasionskanten bis zu einigen dcm!) wie beschrieben.

Diese zeitlich durch Wasser also wenig beschränkten Anhäufungen machen ungefähr 65 % aller Vorkommen aus. Hinsichtlich der morphologischen Bedeutung spielen sie deshalb eine wichtige Rolle. Sie erfahren häufig ein starkes vertikales Wachstum,

a. besonders wenn keine grundlegenden Windrichtungsänderungen oder anhaltenden Flauten eintreten und

b. dank der noch verhältnismäßig nahen Materialquellen.

Daher können sie - bei einem späteren Auftreten zusammen mit begrünten Dünen - unter Einwirkung entsprechender Winde zur Aufhöhung und weiteren Ausdehnung des stabilen Geländes zum Meer hin beitragen. Zumindest aber bewirken das Material, das ihnen bei Umlagerung bzw. wasserbedingten Abbrüchen entzogen, jedoch nicht vom trockenen Strand entfernt wird, und vor allem die reichlichen Sandmassen, die bei einer endgültigen Auflösung zur Verdriftung kommen, eine allgemeine Erhöhung des Strandniveaus im Vordünengebiet.

Eine zahlenmäßig zwar kleine (Anteil: 20 bis 15 %), aber noch größere morphologische Bedeutung haben die Anhäufungen, die - von Windfluten usw. abgesehen - ohne Wassereinwirkung bleiben (= weitgehend überflutungsfreie Standorte). Sie sind daher in dieser Hinsicht von beinahe unbegrenzter Lebensdauer und Entwicklungsfähigkeit. Für die Umwandlung in organogene Dünen kommen sie infolgedessen grundsätzlich in Frage. Dabei ist es egal, ob sie über lange Zeiträume hinweg ihre Form bewahren können oder ob sie als formlose, mehr oder weniger ortsgebundene Sandmassen bestehen bleiben.

Wenn sie in einem späteren Stadium der Inselentwicklung auf bereits lagestabile Dünenflächen oder Dünengruppen auftreffen, erfolgt eine beschleunigte Begrünung und endgültige Festlegung, verbunden mit einer raschen Volumenzunahme. Wenn keine Vereinigung zustande kommt, tragen die Gebilde - wie die der mittleren Strandabschnitte - zumindest direkt zur Dünenbildung und indirekt zur Befestigung und Ausdehnung der dem Einfluß des Wassers endgültig entzogenen Gebiete der Ostplate bei. Das setzt voraus, daß sie sich vorher unter ungünstiger Windeinwirkung (= Richtungsänderung, hohe Geschwindigkeit) umlagern bzw. auflösen und ihre Sandmassen nicht - was wegen der vorherrschenden auflandigen bis strandparallelen Windrichtungen verhältnismäßig selten geschieht - in Richtung des unteren trockenen Strandes oder noch weiter über diesen hinaus verfrachtet werden.

3.2.1.2 Die unbeständigen 3-Faktoren-Dünen

(= Die Hindernisdünen)

Was ihre Stabilität angeht, verhalten sich die Dünen dieser Gruppe günstiger als die Steifen und barchanartigen Bildungen. Sie werden zwar auch unter Einwirkung der gleichen Faktoren (= 1. Sand, 2. Wind) gestaltet; für ihr Zustandekommen ist jedoch darüber hinaus als 3. Faktor ein Gegenstand (= Hindernis) nötig,- egal welcher Gestalt und Größe. Daher sind sie auf bestimmte Standorte festgelegt, an denen sie - läßt man die Frage der Lagestabilität des Gegenstandes und überhaupt den Dünenstandort außer acht - eine allmähliche und, je nach der Gegenstandsgröße, mehr oder weniger beträchtliche Aufhöhung herbeiführen können.

Daß es zu einer wenigstens zeitweiligen und teilweisen Festlegung des an-

gehäuften Materials kommt, muß dem Umstand zugeschrieben werden: Die Gegenstände bringen den Sand nicht nur zum Niederschlag, sondern schützen ihn auch in gewissem Umfang vor einem Abtransport selbst bei Änderung der Windrichtung. Der veränderte Wind schafft nämlich nicht das ganze Material von der Luv- bzw. Leeseite fort, weil sich unter seiner Einwirkung neue Luv- und Leeverhältnisse ergeben: Je nach seinem Einfallswinkel verlagert er es unter Zufuhr frischer Sandmassen um den jeweiligen Gegenstand herum. Dabei geht gewöhnlich nur ein Teil der Substanz verloren. Im Gegensatz zu den Anhäufungsgebilden der ersten Gruppe wird also der abbauende Windeinfluß wenn auch nicht ganz aufgehoben, so doch erheblich abgeschwächt.

Abgesehen von den winzigen Sandfahnen hinter Muschelschalen auf dem nassen und trockenen Strand einerseits und Anhäufungen hinter größeren Gegenständen des gleichen Standortes andererseits, beschränkt sich das Vorkommen der unbeständigen 3-Faktoren-Dünen auf die Spülsäume. Vom Faktor Wind, aber auch gerade von der Lage der Spülsäume zum mittleren Hochwasser hängt es ganz erheblich ab, wie beständig bzw. unbeständig die Dünen tatsächlich sind.

> Handelt es sich - wie im Fall der frühen Dünenentwicklung der Ostplate - um Säume, die nicht weit über MThw liegen, so erreichen sie nur eine verhältnismäßig kurze Lebensdauer. Treten die Dünen aber hinter Hindernissen im Bereich von späteren, höher gelegenen Säumen einer jüngeren Altersstufe der "Düneninsel Ostplate" auf, so können sie sich wochenlang halten. Dann sind sie den 2-Faktoren-Dünen besonders überlegen:
>
> Wenn sich auch ihr Volumen und ihre Ausrichtung unter Windeinwirkung möglicherweise verändern können, beharren sie im ganzen aber doch ungestört an der gleichen Stelle, denn - anders als bei den tiefer liegenden Barchanen und Streifen - spielt der um- oder abbauende Einfluß des Wassers nun eine untergeordnete Rolle.

Um die Genese der Hindernisdünen aufzeigen zu können, muß zunächst auf die frühen Spülsäume eingegangen werden: Wie verhalten sich die Lage und Mächtigkeit der Säume zur Fluthöhe?

3.2.1.2.1 Die frühen Spülsäume SPa

Da selbst ihre höchsten Teile zu Beginn der Düneninselwerdung nur erst einige Dezimeter über MThw emporragen, gerät bei sehr hohen Flutständen die gesamte Ostplate unter Wasser; es bleiben keine überflutungsfreien Abschnitte bestehen. Das vom Meer und - in geringerem Umfang - vom Watt herangeführte Treibzeug verschiedenster Art schlägt sich daher in Gestalt eines einzigen Walles nieder, der ungefähr ostwärts über die Plate verläuft und nur im Bereich der strömungsbeschleunigenden Vertiefungen bzw. Rinnen unterbrochen wird. Egal wie hoch das Wasser ansteigt, es stellt sich immer ein zweiseitig geformter Wall ein. Unterschiede ergeben sich allerdings in seiner Mächtigkeit und Lage: Je höher der Flutstand ist, umso...

a. größer ist das Transportvermögen des Wassers und entsprechend reichhaltig der Niederschlag,

b. weiter verlagert sich der Wall südwärts. Mit zunehmender Fluthöhe verstärkt sich nämlich der Einfluß des von See kommenden Wassers. Der Wall wird sich im Extremfall im mittleren Teil der Plate einstellen.

Die Wälle der sehr hohen Fluten sind verhältnismäßig lagestabil, weil bis zum Auftreten eines gleichen oder noch höheren Wasserstandes lange Zeit vergeht. Entsprechend ungestört können sich die an das Treibzeug gebundenen Dünen entwickeln,- jedenfalls ungestört was den Wasserseinfluß betrifft.

Anders bei niedrigeren Flutständen:

Unter Einwirkung von nur mittelhohen Fluten kommt ein Spülsaum zustande, der in seinem Verlauf deutlich von dem eben beschriebenen abweicht. Es sind zahlreiche Abschnitte im Platenzentrum überflutungssicher. Das vom Meer und Watt her vordringende Wasser vereinigt sich daher nur noch stellenweise. Das geschieht mit etwas abgeschwächterer Intensität als vorher. Das Wasser wird vom Strandwall an einem breiten Vordringen gehindert; es ist jetzt auf flache Stellen in seinem Verlauf und auf jene Passagen in ihm angewiesen, die sich als Verlängerung der Strandpriele von anlandenden Riffen ergeben.

Die überflutungsfreien Stellen befinden sich vor allem im westlichen und mittleren Teil der Plate und entsprechen zum Teil den Zentren der ehemaligen Sockelplaten sowie vor allem den Standorten der breiten Saumwälle bei sehr hohen Fluten. Die Breite der wasserbedeckten Zwischenteile richtet sich nach der Höhe des Flutstandes. Der Treibzeugsaum wird durch sie unterbrochen und watt- bzw. seewärts umgebogen. Er verläuft also nicht mehr als breites Band fast geradlinig über die Plate hin, sondern umschließt die aufragenden Stellen ungefähr ringförmig. Da das wattwärts setzende Wasser auch unter diesen Fluthöhenbedingungen materialreicher ist als das vom Watt kommende, sind die seeseitigen Saumabschnitte stärker ausgeprägt.

Der Durchmesser der einzelnen Saumringe und ihre Form hängen von den Ausmaßen und der Gestalt der jeweiligen Aufhöhung ab. Diese wird ihrerseits weitgehend von der Ausrichtung der im W und O benachbarten Vertiefungen bestimmt. Da in ihnen die Fließrichtung des auflaufenden Wassers (SSO) weitgehend maßgebend ist, haben die aufgehöhten Gebiete insgesamt eine NNW/NW-SSO/SO-gerichtete Form (Abb. 118). Sie ist mehr oder weniger elliptisch, weil die Gebilde in der Mehrzahl stärker mit dem Wasser ausgedehnt als - wie ihre Reihe überhaupt - nach O orientiert sind: Der Effekt des wattwärtigen Umbiegens erreicht nämlich einen beträchtlichen Umfang. - Im großen und ganzen ähneln die aufgehöhten, saumumgebenen Gebiete in ihrer Anlage den heutigen Dünenkomplexen, die - wie unten dargestellt wird - nach entsprechend umfangreicher horizontaler und vertikaler Erweiterung aus ihnen hervorgehen.

Anders als die fast geradlinigen Wälle der sehr hohen Fluten sind die ringartigen Spülsäume durchweg nur mäßig beständig, denn sie liegen zu niedrig, um nicht häufig leicht hin und her verlagert zu werden. Daher sind auch die Anhäufungsgebilde, die sich im Lee der einzelnen Treib-

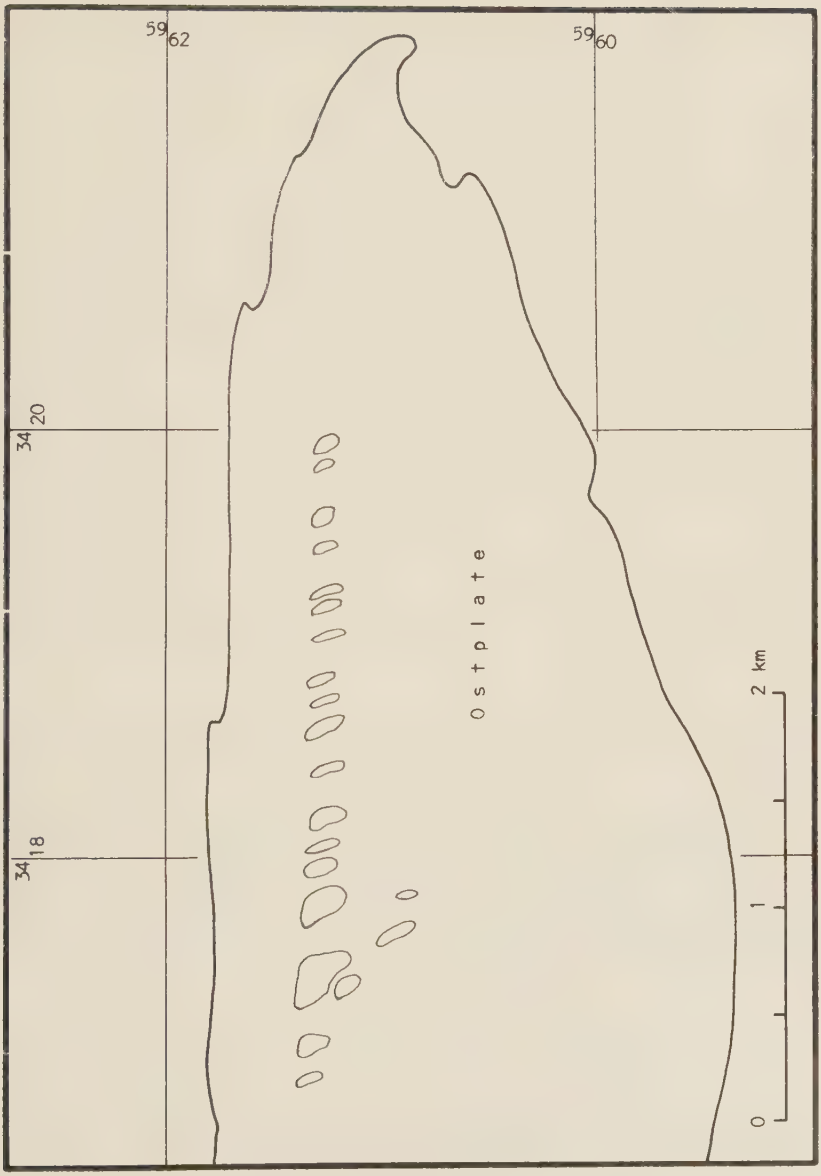


Abb. 116: Ausgangsstadium der Düneninsel-Entwicklung. Der ungefähre Verlauf der Spülsäume mittlerer bis hoher Fluten (frühe Säume SPa)

zeugteile sofort nach dem Entstehen der Ringe unter Einwirkung des Faktors Wind einstellen und gleich beschrieben werden, häufig der völligen bzw. teilweisen Zerstörung ausgesetzt. Trotzdem haben sie erhebliche Bedeutung für die spätere Bildung dauerhafter Dünen: Sowohl in unversehrtem als auch beschädigtem Zustand tragen sie zur Aufhöhung der Standorte bei, ohne die eine Ansiedlung von Dünengebilden länger Beständigkeit gar nicht möglich wäre.

Das Material der in Abbruch geratenen Hindernisdünen geht der Plate nicht verloren; es wird während des Auseinanderwalzens durch Wasser zum größten Teil an oder in der Nähe der ursprünglichen Anhäufungszone belassen und fungiert als Basis für spätere Spülsäume mit etwas beständigeren Hindernisdünen und mit Frühformen der dauerhaften, weil in Verbindung mit Pflanzen entstehenden Dünenarten (= dauerhafte 3-Faktoren-Dünen). Nur noch hohe Fluten, die sich mit stärkerer Wellentätigkeit und größerer Strömungsgeschwindigkeit einstellen, können es weitertransportieren.

Um Verwechslungen mit den späteren, höher und etwas anders gelegenen Spülsäumen zu vermeiden, werden die ringförmigen Säume der Wasserstände einige Dezimeter über MThw als SPa (= frühe Spülsäume) bezeichnet. Die Hindernisdünen dieser Säume werden HDa (= wenig beständige Hindernisdünen im Bereich der frühen Säume) genannt.

Die besagten späteren Säume erhalten die Bezeichnung SPb (= Spülsäume im Anschluß an die Aufhöhung durch SPa einschließlich HDa). Die auf dem Treibzeug dieser Säume beruhenden Anhäufungsformen werden HDb (= etwas beständigere Hindernisdünen im Bereich von SPb) bezeichnet.

Die zahlreichen aufragenden Gebiete, die von den Säumen SPa und SPb umlaufen werden, treten im folgenden unter dem Namen Aufhöhungsgebiete in Erscheinung.

Unter den im nachstehenden Kapitel dargestellten Hindernisdünen sind sowohl die Hindernisdünen der Säume SPa (= HDa) als auch jene von SPb (= HDb) zu verstehen. Da sie nämlich von den gleichen drei Faktoren abhängen und deshalb keine bedeutenden genetischen Differenzen aufweisen, können sie zusammen betrachtet werden. Es ist freilich anzumerken, daß die Bildungen im zweiten Fall durchweg viel ausgeprägter und entwicklungsfähiger sind: Die ab- und umbauende Einwirkung des Wassers ist stärker ausgeschaltet.

3.2.1.2.2 Die Hindernisdünen auf der Grundlage isoliert liegender Gegenstände

3.2.1.2.2.1 Die Entwicklung der verschiedenen Anhäufungszonen

Der luvseitige Materialniederschlag:

Während der bodennahe Luftstrom im ganzen ein kleines Hindernis ohne nennenswerte Veränderungen passiert, erfahren die Teile des Stroms, die unmittelbar auf den Gegenstand zufließen, eine starke vertikale und horizontale Ablenkung und Verwirbelung. Ihre kontinuierliche Bewegung wird beendet. Der Wirbelraum, in dem sich das in Höhe und Breite des Hindernisses herangeführte Material niederschlägt, beschreibt ungefähr einen Halbkreis. Sein Zentrum darf in der Mitte der Luvseite des Gegenstandes angenommen werden.

Die Sandanhäufung in diesem Raum verfügt über einen kontinuierlich sanft ansteigenden Luvhang. Im Gegensatz zu den Ablagerungen vor sehr hohen und breiten Hindernissen bildet er einen nur wenig abgeflachten Rücken und geht unmittelbar nach Erreichen der höchsten Stelle in den etwas stärker geneigten Leehang über. Dieser bildet nicht - wie der ohne Einwirkung eines Gegenstandes entstandene leeseitige Barchanhang - eine völlig störungsfreie Bucht. Er erfährt vielmehr eine Beuruhigung durch die Anhäufung der von der Luvseite des Hindernisses zurückprallenden Körner, die in großer Zahl niedergeschlagen werden und für ein rasches vertikales Wachstum der Anhäufung sorgen.

Der leeseitige Materialniederschlag:

Während das luvseitige Anhäufungsgebiet nur ein sehr beschränktes Ausmaß besitzt und höchstens die Breite des Hindernisses erreichen kann, dehnt sich die Anhäufungszone im Lee des Gegenstandes breiter und vor allem weit mit dem Wind aus; je nach Form des Hindernisses und der Geschwindigkeit des Luftstroms übertrifft sie mit der Länge die Breite meist um ein Vielfaches. Das liegt daran, daß sich der im Luv gabelnde, in zwei Armen ruhig um das Hindernis herumfließende Strom über dessen Breite hinaus ausdehnt und erst in einem ziemlichen Abstand von diesem wieder eins ist.

Der so umströmte Raum ist unmittelbar hinter dem Gegenstand völlig windstill, weiter windabwärts und seitlich jedoch mit Wirbeln angefüllt. Der Luftstrom bewegt sich daher nicht nur wesentlich langsamer fort, sondern fehlt zum Zentrum hin stellenweise ganz. Entsprechend den oben beschriebenen Gesetzmäßigkeiten, die sich an der Berührungszone von zwei unterschiedlich rasch fließenden Strömungen ergeben, bilden sich parallel zur Windrichtung vertikale Trennungsflächen aus, an denen sich die äußere, schnellere Strömung aufrollt und zur Ablagerung des transportierten Materials kommt. Da die aus den Geschwindigkeitsdifferenzen resultierenden Störungen nicht sofort wirksam werden, schlägt sich der Sand zum größten Teil erst weiter windabwärts nieder: Die Anhäufungen seitlich

im Lee des Hindernisses erlangen in einigem Abstand von diesem ihre größte Mächtigkeit.

Die Flügel höhen sich weiter auf und dehnen sich verstärkt windabwärts sowie zum Zentrum des rasch umströmten Wirbelraumes hinter dem Gegenstand hin aus. Das geschieht wegen des ungestörten - weil durch keine oder nur geringe Strömungen behinderten - Herabrollens als Folge von Übersteilung der Anhäufungsgebilde und erfolgt an den Seiten durch die dortige windabwärtige Verdriftung. Diese Entwicklung hat auch folgende Ursache:

Die rauhe Oberfläche der angehäuften Sandmassen bewirkt eine Verzögerung der materialhaltigen bodennahen Strömung und damit das Einrollen der Grenzschicht, die hier mit den schnell losgerissenen Körnern aus dem verhältnismäßig losen Lagerungsverband rasch angereichert und dadurch überlastet wird. Als Folge des Einrollens kommt es zur Materialabgabe. Die Abgabe wird in der Höhe durch das beschränkte Beharrungsvermögen der Körner an einem Hang begrenzt. Wenn dieser die typische Neigung (30 bis 35 Grad) überschreitet, rollen sie herab und fördern das Breitenwachstum der Bildung. Das setzt allerdings voraus, daß sie nicht in den Einflußbereich von Strömungen gelangen. Ist das - wie an den seitlichen Übergangszonen zwischen den Leeschatten und den vorüberfließenden, ungehinderten Strömungen - der Fall, werden sie sofort verdriftet und können dann nur noch teilweise zum horizontalen Wachstum beitragen, und zwar zur Längsausdehnung der Anhäufungen.

3.2.1.2.2.2 Das Verhalten bei Windwechsel

BAGNOLD (1954) hat die Beobachtung gemacht, daß kleine Hindernisdünen, die bei konstanter Windrichtung Zungenform erreichen und in ihren höchsten Partien an den zusammengewachsenen Anhäufungszentren über die größte Breite verfügen, bei gelegentlich und besonders bei häufig wechselndem Wind andere Formen annehmen. Diese Aussage kann aufgrund von Untersuchungen genauer erläutert werden, die an derartigen Bildungen im oberen Spülsaumgebiet der östlichen Ostplate vorgenommen wurden:

Da die Winde in der Regel nicht beständig aus der einen oder anderen Richtung kommen, sondern sich kurzfristig ablösen, bilden sich im Bereich der Hindernisse nicht nur klar nach der einen oder anderen Seite orientierte Anhäufungen aus. Es kommen auch Übergangsformen zustande; ihre Gestalt zeugt davon, daß der Wind oft dreht und die Bildung der jeweils vorhergehenden Richtung teilweise verändert oder zerstört.

So verhalten sich Winde aus NW, die auf eine von reinen W-Winden geschaffene Hindernisdüne (= Gegenstand ist mit seiner Breitseite W-exponiert) auftreffen, beispielsweise folgendermaßen:

> Sie verfrachten Teile des luv- und vor allem des leeseitigen Sandes windabwärts oder gestalten ihn an dem nun unter ihrem Einfluß stehenden Gebilde um. Es fallen der Zerstörung bzw. Umlagerung besonders die Abschnitte zum Opfer, die links, d. h. ungefähr nördlich, von der vertikalen Trennungszone etwa in Richtung OSO-

Abb. 117

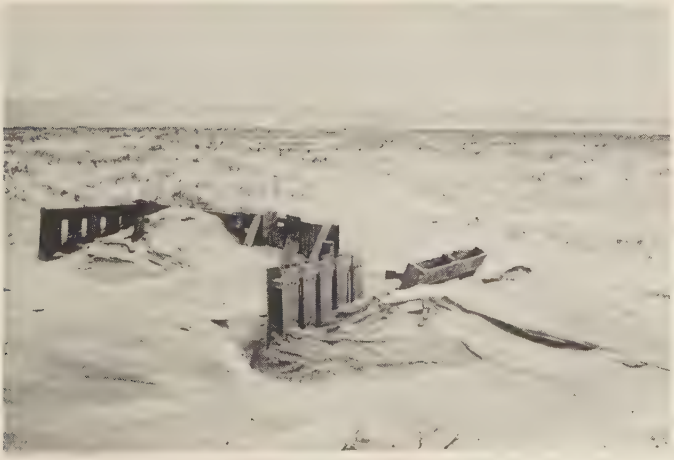


Abb. 118

Abb. 117: Muschelschalen fungieren als Hindernisse und lassen im Lee kleine Sandfahnen als einfachste Form der Hindernisdünen entstehen (trockener Strand, mittlere Ostplate)

Abb. 118: Treibzeug veranlaßt luv- und leeseitigen Materialniederschlag (junges Weizendünenfeld der mittleren Ostplate, W-Wind, Blick NNW)

SO verlaufen und sich aufgrund der Geschwindigkeitsdifferenzen bilden.

Es wird besonders der linke Flügel der Sandmassen von dieser Umlagerung betroffen. Falls die Vereinigung der beiden Flügel bereits so weit fortgeschritten ist, daß ein zungenförmiges Gesamtgebilde vorliegt, gilt das auch für Teile von dessen linker, nach NW abfallender Leeflanke.

Auf der windaufwärtigen Seite des Hindernisses erfährt die Luvhangspitze eine Beschneidung von NW nach SO auf die südliche Kante des Gegenstandes zu. Alles Material rechts, also südwestlich davon, wird um das Hindernis herum in Richtung zur Flanke bzw. Leespitze des rechten, d. h. des Flügels mit SO-Auszug verdriftet.

Lösen südwestliche Winde die Strömungen aus dem nordwestlichen Sektor ab,

findet die Umlagerung und windabwärtige Verdriftung aller Sandmassen statt, die rechts, also ungefähr südlich von der vertikalen Trennungszone mit O- bis ONO-Ausrichtung, angehäuft worden sind, und zwar unter Einwirkung der zuvor vorherrschenden Windrichtungen. Es wird diesmal vor allem der rechte Flügel bzw. die etwa nach SW abfallende Leeflanke des Gesamtgebildes umgelagert.

Im Luv ergibt sich eine dem oben beschriebenen Vorgang entgegengerichtete Entwicklung: Die etwa nach NNW exponierte Spitze des Luvhangmaterials wird bei der Begradigung, die von SW nach NO auf die nördliche Außenseite des Gegenstandes verläuft, um diese herum leewärts verfrachtet.

Da die Winde des südwestlichen und nordwestlichen Sektors einander häufig ablösen, können sich einerseits bei den aus SW bestimmten Leezungen keine dauerhaften linken und andererseits bei den von den NW-W-Winden geformten Leezungen keine dauerhaften rechten Flügel einstellen. Als konstante Bildung kommt hinter dem Hindernis daher nur eine schmale, hoch-aufgehäufte und deshalb mit verhältnismäßig steilen Flanken versehene Sandzunge zustande. Sie wird von beiden Richtungen gemeinsam mit neuem Material, das aus rückwärtigen Quellen herantransportiert wird oder infolge von Umlagerungen ansteht, weiter bis zur maximalen Hangneigung erhöht und leewärts ausgezogen. Ein völliger Abbau findet in diesem Bereich also weder unter Einwirkung der einen noch der anderen Richtungen statt.

Eine Gestaltungsdominanz der Winde des nordwestlichen Sektors ist aber trotzdem festzustellen:

a. Sie herrschen mit ihrem Anteil von 38,3 % am morphologischen Bedeutungsgesamtwert aller Winde vor (Anteil der Winde der südwestlichen Richtungen: 31,6 %).

b. Ehe sie das Dünenbildungsgebiet der Spülsäume erreichen, passieren sie die zu jeder Jahreszeit bei weitem ergiebigsten Materialquellen. Daher bringen sie den größten Teil des sich dann weiter windabwärts niederschlagenden Sandes herbei. Die südwestlichen Winde überwehen in diesem Stadium der Platenentwicklung zwar auch ei-

nen breiten Strandbereich. Ein Strandwall und ständige Materialaniandung in Rifform fehlen hier aber. Die Möglichkeit des Sandtransportes aus den Windrissen des westlichen Dünengebietes bzw. seines platenseitigen Vorfeldes gleicht diesen Umstand nur bedingt aus.

Zwar treten die südwestlichen und besonders die nordwestlichen Winde als Hauptbildungs- und -gestaltungsfaktoren auf. Daneben spielen aber - zumindest zeitweilig - auch andere Richtungen eine gewisse Rolle. Das hat zur Folge, daß sich nach Entstehung und Form keineswegs nur derartig ausgeprägte Bildungen ergeben wie die eben beschriebenen Hindernisdünen. Die Umlagerungsvorgänge infolge von mehr oder weniger stark und oft drehenden Winden und die daraus resultierenden Dünen, deren Gestalt außerdem noch von der Größe, Durchlässigkeit und Oberflächenrauhigkeit der Hindernisse abhängt, sind vielfältig. Es kann hier jedoch nur noch auf die Gestaltungsvorgänge unter Einwirkung östlicher Winde eingegangen werden.

Auf den für sie leicht zugänglichen Strandflächen bilden sich Hindernisdünen besonders in den Frühjahrsmonate, denn dann werden die Windverhältnisse von den östlichen Winden ja erheblich mitbestimmt. Wenn sie ungestört über längere Zeiträume hinweg auftreten, können sie - selbst wenn sie nur in morphologisch wenig wirksamen Stärken wehen - genug Material von der östlichen Ostplate herbeiführen. Dort befindet sich im N ein verhältnismäßig breiter Strand als ständiges Materialreservoir. Er wird von dem südlich der Ostspitze liegenden Strandgebiet ergänzt, dessen Sand für die Verfrachtung in die Aufhöhungsgebiete der Spülsäume SPa bzw. dann SPb und heute in die jungen begrünten Dünengebiete auch durch südliche Winde in Frage kommt. Gemeint ist der oben beschriebene SO-Haken mit seinem unselektierten Materialvorrat.

Die von den östlichen Winden gestalteten Hindernisdünen liegen nicht nur im Spülsaumbereich der östlichen Plate, sondern auch in dem weiter westlichen. Dort finden die Winde an den Leeseiten der Anhäufungen, deren Achse - aufgrund der vorherrschenden Gestaltung durch die nordwestlichen Winde - etwa in einem Winkel von 30 bis 4o Grad gegen ihre Fließrichtung verläuft, genügend Ansatzpunkte, um diese nach S und dann nach W umzulagern sowie, durch Materialzufuhr aus den östlichen Quellen, weiter aufzuhöhen und windabwärts auszuziehen.

Reichen Wehdauer und -stärke dazu nicht aus, so kommt jedoch eine zumindest teilweise Bearbeitung zustande: Die gegen den Wind ragenden Abschnitte werden abgestumpft und leicht aufgehöht und die nun leeseitigen Teile verlängert.

3.2.1.2.3 Die Hindernisdünen auf der Grundlage dicht liegender Gegenstände

Mehr oder weniger weit ausgezogene und mächtige Sandanhäufungen in Gestalt von zungen- oder fahnenförmigen Gebilden kommen nicht nur unmittelbar hinter den Hindernissen, sondern - in etwas abweichender Form - auch windabwärts zwischen diesen zustande.

Das ist jedenfalls dann der Fall, wenn die Gegenstände im Bereich der Säume SPa und SPb und auch der heutigen Säume extrem hoher Fluten so dicht nebeneinander liegen, daß sie nicht jeweils für sich die beschriebenen Sandanhäufungen hervorrufen. Die Folge ist eine - je nach Zahl und Größe der Gegenstände - geschlossene oder wenigstens teilweise unterbrechungsfreie Kette von Hindernisdünen, die an den Flanken der ursprünglichen Leeflügel verbunden sind:

3.2.1.2.3.1 Die beiden leeseitigen Anhäufungszonen und ihr Zusammenwachsen

Der bodennahe Luftstrom nimmt, indem er durch die schmale Öffnung zwischen den Gegenständen einfließt, sprunghaft an Geschwindigkeit zu. Infolgedessen wird die von ihm transportierte Sandmasse zusammengedrängt und beschleunigt. Gleichzeitig erfährt sie eine Materialanreicherung, denn die Strandfläche wird an den Stellen, an denen die Fließgeschwindigkeit am größten ist, also in dem windaufwärtigen Vorfeld der Öffnung und windabwärts hinter ihr, vor allem jedoch zwischen den Gegenständen selber, mehr oder weniger abgetragen. Es entsteht deshalb eine zunächst breite und nur wenig ausgetiefte, dann jedoch - in Höhe der Hindernisse - schmale, ziemlich tiefe und im Anschluß daran sich wieder verbreiternde und mit dem Wind abflachende Erosionsschneise.

Der in ihr losgerissene Sand trägt zur Sättigung der sowieso schon überbelasteten Grenzschicht bei. Daß sich diese sehr schnell einem kritischen Punkt nähert, wird durch den Umstand mitbeeinflußt, daß im Lee der Öffnung die Transportkraft des Luftstroms wesentlich abnimmt, weil sich seine Geschwindigkeit infolge der nachlassenden Einengung schnell verringert. Da die in Suspension und Saltation befindlichen Körner über einen hohen Impuls verfügen, hält der Transport jedoch noch einen Augenblick lang unvermindert an, so daß es erst in einiger Entfernung windabwärts zum Materialniederschlag kommt.

Er erfolgt in Form eines sich leeseitig ausziehenden, zunächst sehr schmalen, zungenförmigen Gebildes, das - wieder als Folge der erneut schnell überlasteten Grenzschicht - bei anhaltender Materialzufuhr ein rasches vertikales und horizontales Wachstum erfährt. - Neben dieser Anhäufung genau im Lee der Öffnung kommt es aufgrund der auftretenden Strömungsdifferenzen zur Ausbildung der besagten vertikalen Trennungsflächen, und zwar

a. bereits unmittelbar seitlich der Erosionsschneise, d. h. im Schatten der Hindernisse, sowie

b. vor allem an den Übergangsstellen zwischen den stark gebremsten Strömungsabschnitten hinter den Gegenständen einerseits und den mit wesentlich höherer Geschwindigkeit die Schneisen formenden Abschnitten andererseits.

Den Trennungsflächen entlang werden die randlichen Teile der durch die Öffnung vordringenden, materialreicheren Strömungsabschnitte aufgerollt und zum Niederschlagen gebracht. Es stellen sich längliche, fahnenartige Gebilde ein.

Beide Anhäufungszonen gehen gewöhnlich ineinander über, so daß im lee-

seitigen Vorfeld der Öffnung eine Figur zustande kommt, deren Form ein wenig an eine Parabeldüne erinnert: Es ziehen sich zwei Flügel aus, die windabwärts zum verhältnismäßig sanft ansteigenden, nach Luv exponierten Haupthang emporwachsen und eine zum Wind offene Bucht einschließen. Windabwärts flacht sich die Anhäufung allerdings weniger steil ab als die Parabelform.

Bei den engliegenden Spülsaum-Hindernisdünen handelt es sich nicht nur um gelegentlich auftretende Erscheinungen, sondern zumeist um ganze Ketten solcher Gebilde: Vor allem bei längeren Perioden westlicher bis nordwestlicher Winde mit anhaltender Materialzufuhr verbinden sich die Flanken der einzelnen Dünen miteinander. Es enstehen dann mehr oder weniger geschlossene Reihen länglicher Formen, die verwachsen sind und sich ständig aufhöhen; infolge des bei Hangübersteilung seitlich abrollenden Materials füllen sie die Übergangsstellen auf. Dadurch verwischen sie ihre urspüngliche Gestalt und nehmen insgesamt ein welliges Aussehen an.

Die Kettenbildung ist dann besonders groß, wenn die einzelnen Glieder unter Einwirkung wechselnder Winde sich noch enger zusammenschließen, verbreitern und aufhöhen:

3.2.1.2.3.2 Die Umformungen bei Windwechsel

Treten im Anschluß an die dominierenden westlichen Winde über lange Zeiträume hin östliche Winde auf, werden das Dünenmaterial bzw. der frische Sand so gestaltet, daß sich Anhäufungen sowohl in dem nach O exponierten Vorfeld der Durchlässe als auch an der bisherigen Luvseite der Hindernisse ergeben. Hier haben sich - und das muß noch nachgetragen werden - bereits zuvor unter dem Einfluß westlicher Winde kleine Sandhalden gebildet. Diese entsprechen in Aussehen und Entwicklung den oben beschriebenen luvwärtigen Anhäufungen vor isolierten Hindernissen und weisen ebenfalls nur eine beschränkte Höhe und Ausdehnung gegen den Wind auf. Die neuen leeseitigen Bildungen stehen mit den flügelartigen Aufschüttungsformen seitlich im Schatten der Gegenstände in Verbindung, die gleichzeitig wieder als Folge des beschriebenen Trennungsflächen-Phänomens zustande kommen.

Wie im umgekehrten Fall unter Einwirkung von westlichen Winden findet die Übersandung der Zwischenräume innerhalb der ausgezogenen Gebilde statt, wenn die östlichen Winde ihre Richtung ändern, so daß der durch die Durchlässe gedriftete bzw. über die Hindernisse geblasene Sand sich nicht unentwegt an der gleichen Stelle niederschlägt. Er wird dann einmal in Gestalt von mehr nach SW oder WSW weisenden Anhäufungen, ein andermal als W- bis NW-orientierte Sandfahnen aufgeschüttet.

Die anhäufungsfreien Zwischenräume verringern sich ebenfalls bei Winddrehung auf SW. Dieser Fall ist besonders häufig, weil die Winde dieser Richtung denen aus dem nordwestlichen Sektor ja nach Zahl und vor allem nach morphologischer Gesamtbedeutung wesentlich näher stehen als die östlichen. Als Material für die Auffüllung kommt - neben frischem Sand - jener Sand in Frage, der unter Einwirkung der neuen Richtung von den bestehenden Anhäufungen verdriftet wird. Er stammt aus umgelagerten Leespitzen und von den Rücken der von den Ostwinden windabwärts hinter den Durchlässen aufgeworfenen Gebilden oder deren Luvhängen, und zwar so-

weit diese Hänge nicht mit jenen Anhäufungen unmittelbar seitlich hinter den Hindernissen in Verbindung stehen, die als leeseitige Flügel angesprochen wurden.

Fehlen nämlich diese Verbindungen, die als Ganze der umlagernden Einwirkung des bodennahen Luftstroms weniger zugänglich sind als eine in einer flachen Spitze auslaufende Anhäufung, werden die ursprünglichen Luvhänge nach Einsetzen der Winde aus der neuen Richtung umgebogen. Dann werden sie bis zum Auftreffen auf den hinter dem jeweils östlich sich anschließenden Gegenstand angehäuften Sand ausgezogen, der sich dort während der Ostwindperiode niedergeschlagen hat.

Insgesamt gesehen tragen die Umlagerungs- und Auffüllungsvorgänge bei Windänderung dazu bei, daß im Bereich der Spülsäume SPa und besonders SPb breite, mehr oder weniger geschlossene und hohe Sandwälle entstehen. Ihre morphologische Bedeutung als Standortvorbereiter für die dauerhafte Dünenbildung ist etwas größer als die im Falle der mehr isolierten Hindernisdünen, denn diese können - selbst bei ständiger Materialzufuhr und häufigem Windwechsel - für keine so ausgeprägte positive Veränderung in vertikaler und horizontaler Richtung sorgen.

3.2.2 Das Düneninselstadium I

(= Die Frühformen der dauerhaften 3-Faktoren-Dünen)

Es konnte in der vorausgegangenen Darstellung gezeigt werden, daß die wichtigsten Voraussetzungen für das Zustandekommen von Anhäufungsgebilden aus Flugsand auf der Ostplate gegeben sind: eine der Einwirkung des Windes (2. Faktor) ausgesetzte, vom Wasser ständig mit unselektiertem Material (1. Faktor) versehene Strandfläche und im Anschluß daran eine nur episodisch überflutete Zone! Zur Bildung und Entwicklung von wirklich dauerhaften, sich mehr oder weniger rasch ausbreitenden Dünen fehlen nur noch als entscheidender 3. Faktor die Pflanzen.

Bevor auf die Vorgänge des Sandfangs und der Dünenbildung zunächst unter Einwirkung von annuellen Nitrophyten und dann unter der von Dünengräsern eingegangen wird, ist der Spülsaum noch einmal einer Betrachtung zu unterziehen: Nach den obigen allgemeinen Anmerkungen zu seinen Lage- und Formveränderungen während des Ausgangsstadiums der Düneninselbildung soll er nun speziell in Hinblick auf die Besonderheiten untersucht werden, die die Ansiedlung von dünenbildenden Pflanzen begünstigen.

3.2.2.1 Die Bedeutung der Spülsäume für die erste pflanzenbedingte Platenaufhöhung

3.2.2.1.1 Ihre Lage als Voraussetzung für die Ansiedlung von Pflanzen

Der Abstand zur MThw-Linie:

Bei der Darstellung der frühen Spülsäume (SPa) und Hindernisdünen (HDa) ist verdeutlicht worden, daß diese Säume - wegen ihrer noch weitgehend ungünstigen Lage zum mittleren Hochwasser selbst in den am stärksten aufgehöhten Platenteilen - verhältnismäßig wenig dauerhaft sind und daher, von Ausnahmen abgesehen, für die Ansiedlung von Pflanzen nicht in Frage kommen. Die Bildung von frühen lagestabilen und entwicklungsfähigen Dünengebilden auf der Grundlage von Vegetation setzt erst im Bereich der jungen Säume SPb ein, die auf SPa und HDa basieren und sich durch einen günstigeren Abstand zum mittleren Hochwasser auszeichnen.

Sie sind weit auf den trockenen, bereits aufgehöhten Strand vorgeschoben und werden dadurch von den nachfolgenden Fluten nur noch selten erreicht oder überspült (LÜDERS, 1967: Flutmarken oder Deeken). Diese Säume bilden sich bei hohen Wasserständen, wie sie unter Einwirkung von lang anhaltenden nordwestlichen Winden und vor allem bei Voll- und Neumond als hohe Springfluten und besonders bei der Überlagerung der Windfluten des Herbstes und Winters durch eine Springflut oder eine ihr höhenmäßig nahekommende Flut entstehen.

Mit dem frühesten und den sich später in noch jüngeren Ostplatenstadien meer- und wattwärts anschließenden Anhäufungsformen auf Pflanzenbasis sind also nicht - wie häufig in Zusammenhang mit anderen Inseln behaup-

Abb. 119

Abb. 120

Abb. 119: Spülsaum mittlerer Fluten (Hintergrund) und Treibzeugwall deutlich überdurchschnittlicher Wasserstände (vor dem Fuß der Randdünenkette, mittlerer N-Strand, Blick NW)

Abb. 120: Reicher Treibzeugniederschlag von überdurchschnittlichem Hochwasser erzeugt, ca. + 1,50 m MThw (Fuß der nordwestlichen Randdünen, im SW des Dünenkliffs, Blick SW)

tet worden ist - Bildungen in Verbindung mit Streifen aus angelandetem Treibzeug in Höhe von MThw und auch nicht mit solchen bei Wasserständen leicht darüber gemeint. Infolge der ständigen Fluthöhenänderung aufgrund der astronomischen Gesetzmäßigkeiten von Ebbe und Flut weisen die beiden nämlich keine große Lagestabilität auf:

Die abgesetzten toten und organischen Gegenstände einschließlich der Samen verharren daher nicht über längere Zeiträume hin an der gleichen Stelle des Strandes. Soweit sie nicht vom Wasser, das ihren bisherigen Lagerplatz überspült und dann abläuft, ins Meer zurückgeholt und damit vorerst oder für immer der Plate entzogen werden, erfahren sie einen fortwährenden Hin- und Hertransport auf den trockenen Strand hinauf bzw. zurück in Richtung See. Die Samen sind also bei regelmäßigen Wasserstandshöhen um MThw und leicht darüber oder darunter einer häufigen Umlagerung unterworfen.

Sie können daher nicht oder nur schwer keimen, geschweige denn dauerhaft Fuß fassen. - Die kümmerlichen Pflanzen, die gelegentlich - trotz der ständigen Bewegung - im Bereich der Säume etwas oberhalb der MThw-Linie siedeln, bilden eine Ausnahme. Sie sind allerdings nicht im Stande, länger als einige Wochen zu existieren; eine deutlich über MThw auflaufende Flut vernichtet sie.

In den hochgelegenen Säumen gedeihen die Pflanzen dagegen verhältnismäßig gut. Zwar ist das dafür notwendige Salz auf den etwas tieferen Abschnitten des Strandes reichlicher vorhanden. Sie können jedoch eher auf diese Begünstigung als auf einen vor der Unruhe ständiger Überflutungen sicheren Standort verzichten.

Das Auftreten der Pflanzen will nicht besagen, daß im Stadium von SPb zuerst einigermaßen dauerhafte Anhäufungsgebilde entstehen und anschließend sich weitgehend vergängliche, weil auf toten Gegenständen basierende Dünen (HDb) einstellen. Die umgekehrte Reihenfolge darf als die tatsächliche angenommen werden. Da die Pflanzen aus den abgesetzten Samen zumindest einige Zentimeter hoch sein müssen, um als Sandfänger fungieren zu können, sind ihnen die Hindernisse - was das rasche Zustandekommen von Anhäufungen betrifft - nämlich überlegen. Erst später gehen die Anlage und Ausweitung von Hindernisdünen mit der von pflanzenbedingten Figuren Hand in Hand, um schließlich einem klaren Dominieren der der letztgenannten Platz zu machen. Denn: Die instabilen Anhäufungsformen verfügen sowohl infolge der vorgegebenen konstanten Größe der Gegenstände, von denen sie erzeugt werden, als auch wegen ihrer größeren Empfindlichkeit gegenüber Richtungsänderungen der materialniederschlagenden Winde über eine viel deutlicher beschränkte Entwicklungs- und Existenzfähigkeit.

Daß die Hindernisdünen etwas früher bzw. überhaupt an gleicher Stelle auftreten, hat positive Auswirkungen auf die "Pflanzendünen". Sie halten den Wind ab, der über die Strandfläche streicht und bewirken damit, daß

a. die Keimlinge vor dem Vertrocknen geschützt und später

b. die ganz jungen, erst Zentimeter hohen Dünchen nicht wieder auseinandergeblasen werden.

In diesem frühen Stadium ist die Gefahr einer windbedingten, teil-

weisen oder völligen Zerstörung nämlich noch sehr groß. Im Gegensatz zur negativen Einwirkung von Wasser ändert sich das allerdings mit zunehmender Dünenausweitung und -aufhöhung ziemlich rasch.

Der Saumverlauf und die Verbreitung der Aufhöhungsgebiete:

Die Säume weisen folgende Gestalt auf:

Sie verlaufen mehr oder weniger ringförmig auf jenen aufragenden, von W nach O nebeneinandergereihten Stellen im Platenzentrum oder um deren Ränder, die den Bereich der frühen Säume SPa und der auseinandergewalzten Sandmassen ihrer Dünen HDa kennzeichnen und als erste äußere Begrenzung der zukünftigen Aufhöhungsgebiete angesprochen wurden. Obwohl sie dadurch günstiger zur MThw-Linie liegen, sich leicht ausweiten und infolgedessen das jeweils eingeschlossene Gebiet vergrößern, bleiben sie den SPa-Säumen formal ähnlich. Sie haben zum Teil ein ellipsenförmiges Aussehen. Mit ihren Schmalseiten sind sie nach NNW/NW bzw. nach SSO/SO hin exponiert; ihre Breitseiten fallen zu den Vertiefungen zwischen den einzelnen Gebieten ab, die - wie gesagt - bei hohen Fluten für den Wasseraustausch zwischen den strand- und wattseitigen Inselteilen sorgen. Vornehmlich die Ausrichtung und Breite der Vertiefungen bestimmen auch weiterhin den Saumverlauf und damit die Form und Zahl der Aufhöhungsgebiete (Abb. 121).

Diese sind am ausgeprägtesten im westlichen Teil der Ostplate, der ungefähr 1,5 km von den NO-Randdünen des alten Inselteils beginnt und sich - einschließlich aller Vertiefungen - fast parallel zum Strandwall auf 1,7 km nach O zieht, und zwar in einem durchschnittlichen Abstand von 400 m zu diesem. Für den ausgeprägten Zustand ist der Umstand maßgebend, daß sich die Gebiete hier in jenem Platenabschnitt befinden, in dem - auf der Grundlage der frühen, am längsten emporgewachsenen Sockelplate - die allgemeine Aufhöhung am weitesten fortgeschritten ist. Je nach der Breite der benachbarten Vertiefungen sind sie mehr oder weniger dicht gelagert bzw. ausgeweitet: Ihre durchschnittliche Breite beträgt zwischen 50 m (= im Bereich der heute am weitesten im W gelegenen Dünenkomplexe) und 150 m (= die ostwärts anschließenden Dünenkomplexe). Die Längsausdehnung parallel zu den Vertiefungen macht durchschnittlich etwa 200 m aus.

Ungefähr 300 m südlich dieser westlichen Aufhöhungsgebiete, also außerhalb der besagten W-O-verlaufenden Kette aller Gebiete, bestehen einige Zonen (= im Bereich der heutigen "Bombenkreuz-Dünen"), die zwar erst-schwach ausgebildet sind (50 m breit, knapp 200 m lang), aber doch als Aufhöhungsgebiete angesprochen werden müssen. Sie stellen sich ein, weil - bedingt durch die Breite der seewärts vorgelagerten Gebiete - der Einfluß der Vertiefungen hier nicht so groß ist wie weiter westlich und vor allem weiter östlich und ein Standort vorliegt, der gleichsam als Wasserscheide zwischen ihnen fungiert.

Die Aufhöhungsgebiete des mittleren Platenteils (= W-O-Erstreckung einschließlich aller Vertiefungen: über 2 km) sind zwar insgesamt mehr als doppelt so zahlreich und viel regelmäßiger angelegt und geformt als die westlichen; sie erreichen mit einer mittleren Breite von 40 m aber

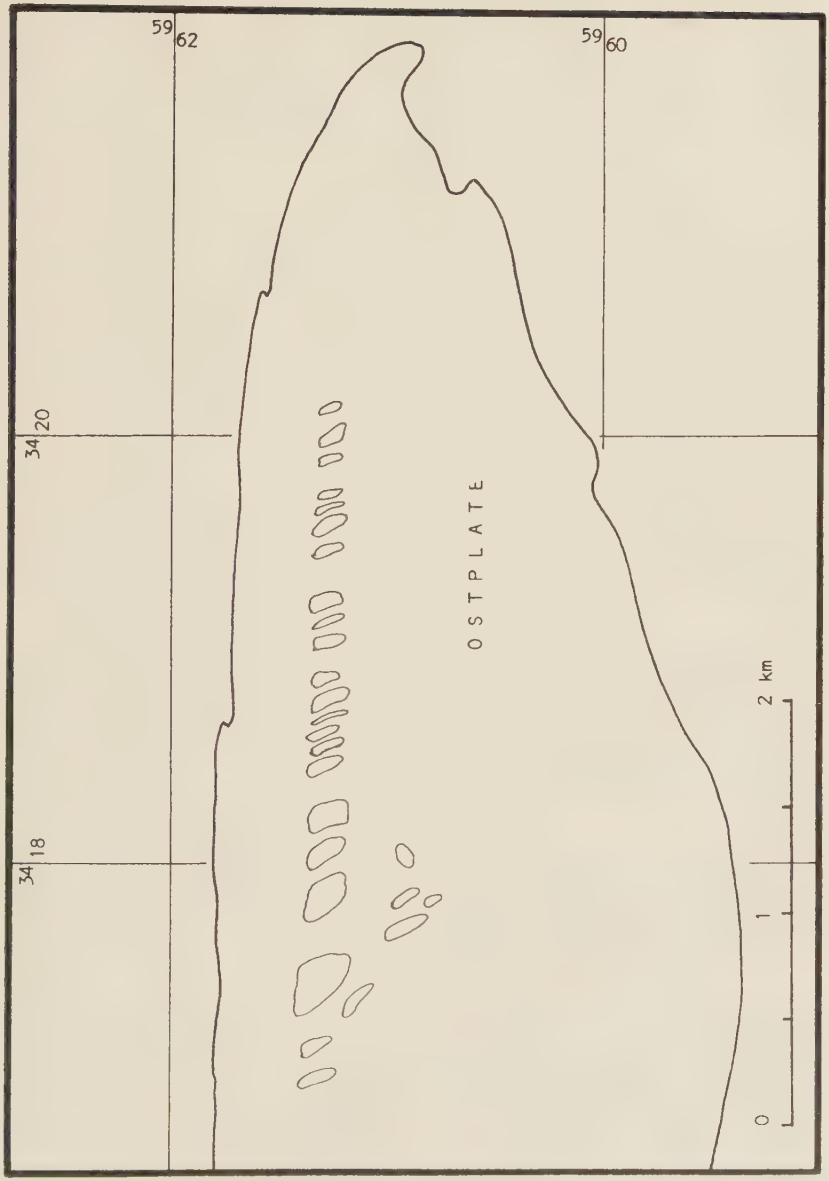


Abb. 121: Düneninselstadium I. Der ungefähre Verlauf der Spülsäume (junge Säume SPb) mit Dünenbildung auf der Grundlage von Saumpflanzen und Treibzeug

nicht ihr Ausmaß. In der Länge parallel zu den Vertiefungen besteht mit knapp 200 m dagegen keine bedeutsame Differenz.

Im östlichen Platenteil (= ostwärtige Ausdehnung: etwa 1,3 km) treten erst wenige, nur schlecht ausgebildete Aufhöhungsgebiete auf. Diese Zone ragt nämlich im Mittel 0,5 m über MThw und wird infolgedessen häufig im ganzen überflutet. Für sie ist daher noch weitgehend jener zweiseitig geformte, mehr oder weniger unterbrochene Treibzeugwall typisch, wie er ursprünglich über die gesamte Plate verlief.

3.2.2.1.2 Zu den Nährstoffverhältnissen und den sie bedingenden biochemischen und physikalischen Vorgängen

Aufgrund der Spülsaumlage deutlich über MThw hat das lebende und tote pflanzliche bzw. tierische Treibzeug, das hier sehr reichlich vorhanden ist, weil es von überdurchschnittlich transportfähigen Fluten angehäuft wird, genug Zeit zum Zerfallen und zur Umsetzung in anorganische Teile. Das geschieht, nachdem es mehr oder weniger stark überweht worden ist.

Die Spülsäume treten daher bekanntlich als die bei weitem nährstoffreichsten Gebiete des Strandes in Erscheinung. Es machen sich also die für jede Keimung ungünstigen Eigenschaften des kolloidarmen Sandes hier nicht so stark bemerkbar wie auf den benachbarten Strandflächen. Dort fehlen nämlich vor allem die beiden für die Lebensfähigkeit der Pflanzen sehr wichtigen Stoffe Phosphor und Stickstoff. Da er vor seiner Anlandung lange dem Wasser ausgesetzt ist, sind sie dem Sand durch Auslaugung weitgehend entzogen. Im Gegensatz zu den Säumen stellen sie sich nicht wieder ein.

Da zum Chemismus der Säume auf Spiekeroog keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden konnten, sollen einige Vergleichzahlen zur Kennzeichnung der Bedeutung der Treibzeugstreifen genügen:

> Während Humusboden durchweg 2 % und mehr Phosphorsäure enthält, verfügt der reine Strandsand über den etwa zweitausendsten Teil und die Dünen generell über ein Tausendstel dieser Menge. Der H_3PO_4-Wert der Säume beträgt dagegen 0,02 %. - Noch günstiger schneiden die Säume hinsichtlich des NO_3-Anteils ab: Im reinen Sand ist etwa 0,002 %, im Saumbereich mit 0,28 % aber die 140fache Menge enthalten (STEUBING, 1948).

Da in den Säumen und in ihrer Nähe zumeist große Mengen ganzer und vom Wasser bis zu feinen Teilchen zerschlagener, unter Einwirkung der Korrosion und des Mikroklimas weiter aufbereiteter Muschelschalen ausgebreitet liegen, ist hier der Kalkgehalt größer als auf der benachbarten Strandfläche.

> So ergibt sich im Bereich des obersten Spülsaums der östlichen Ostplate ein Gehalt von 5,11 % und im Sand des umliegenden Gebietes einer von 3,47 % (Mittel aus 5 Proben). Der pH-Wert differiert jedoch kaum: Er beträgt im ersten Fall 7,4, im zweiten 7,2. Beide Male ist der Sand also fast alkalisch (= pH über 8).

Auf zwei interessante Gegebenheiten ist im Zusammenhang mit den angelandeten Muschelschalen und -teile noch hinzuweisen. Die zweite bezieht sich allerdings nicht nur auf die Muscheln der Säume, sondern auf alle im Strandbereich angeschwemmten und zerfallenen Schalen.

a. Indem die Muscheln die bedeckten Sandschichten vor der Einwirkung des Windes und der Sonnenbestrahlung schützen, setzen sie die Verdunstung herab. Sie tragen also auch mittelbar zur Pflanzenansiedlung bei. Vor allem die kleinen und kleinsten Schalenteile dienen sowohl zur Bildung von vergänglichen als auch dauerhaften Anhäufungsformen; wie die umliegenden Sandkörner werden sie nämlich vom Wind aufgenommen und an anderer Stelle ohne oder in Verbindung mit toten Gegenständen bzw. Pflanzen niedergeschlagen. Im letzten Fall spielen sie eine besonders wichtige Rolle: Sie tragen nicht nur direkt zur Substanzvergrößerung der Dünen bei, sondern sie sind - weil die Ca-Verbindungen ja einen wichtigen Nährstoff darstellen - über das Wachstum der Pflanzen indirekt für die Festigung und vertikale Ausdehnung der Gebilde mitverantwortlich.

b. Der Standortboden ist aufgrund der überwehten, nicht zerfallenen toten Gegenstände einerseits und des organischen Materials, das eine rasche Humifizierung erfährt, andererseits aufgelockert und damit gut durchlüftet. Infolge seines nun feineren Kapillarsystems verfügt er über eine günstigere Wasserführung als die Umgebung. Durch die Steigerung der Wasserkapazität verbessert sich das Mikroklima. Beides bedeutet, daß die Verdunstung herabgesetzt wird, und das wiederum ergibt eine bessere Keimungsmöglichkeit für die angelandeten Samen.

Mit der Ausweitung der Dünen, wie sie sich aber weniger in Verbindung mit den Saumpflanzen als vor allem unter Einwirkung der Pflanzen der Folgegesellschaften einstellt, geht dann allerdings - bei gleichzeitigem schwachen Adsorptionsvermögen des Sandes - eine Auswaschung und Bindung der frei werdenden Teile, eine Steigerung der Humusbildung und damit eine Anreicherung von organisch gebundenem Stickstoff Hand in Hand. Die rein pflanzenbedingte Dünenbildung und -entwicklung zeitigen also eine allmähliche Verarmung des Bodens:

An die Stelle der zunächst alkalischen, nitrat- und kalkreichen, im ganzen eutrophen Bodenart der Säume tritt später der nitratarme, weitgehend oligotrophe Boden der bereits stark aufgehöhten und ausgedehnten Dünen.

3.2.2.2 Die Pflanzen der Spülsäume SPb und jünger (Abb. 122 - 125)

3.2.2.2.1 Ihre Bedeutung als Sandfänger und Dünenbildner

Die im Herbst und Winter in den höchsten Säumen abgesetzten Samen der annuellen Nitropythen halten sich - soweit sie nicht durch nachfolgende, noch höhere Fluten wieder meerwärts getragen werden - bis zum Frühjahr keimfähig. Die Keimung erfolgt bevorzugt im Schutze von angeschwemmten Gegenständen und der Hindernisdünen in Verbindung mit ihnen (HDb), und zwar an den der besagten Humifizierung am stärksten ausgesetzen Stel-

len der Säume. Sie setzt bei der rasch zunehmenden Bodenwärme gegen Ende des Frühjahrs ein und läuft aufgrund der starken Nitrifikation sehr schnell ab.

Die frühesten Pflanzen sind durchweg so gebaut, daß sie keinen Anlaß zur dauerhaften, lagestabilen Sandanhäufung geben, und zwar obwohl sie - was die verfrachtete Körnermenge und den damit herangeführten Nährstoff betrifft - im Bereich des wichtigsten Materialtransportes liegen:

a. Ihre Größe reicht nicht aus, um bedeutende Sandmassen zum Niederschlag zu bringen.

b. Ihnen fehlt die für die folgenden Gräser typische Eigenschaft der Festlegung des Anhäufungsmaterials und dessen "Verarbeitung" Dünen oder zu einem Teil davon.

VAN DIEREN hat das Verhältnis zwischen ihnen und dem vom Wind herangeführten Material treffend charakterisiert: "Der Sandtransport ist für sie keine Lebensnotwendigkeit, sondern vor allem eine Schwierigkeit, die überwunden werden muß. Man kann diese Dünenbildung 'passiv' nennen." (1934, S. 129)

> Die wesentlichste Rolle für die Zurückdrängung der MThw-Linie und die spätere Dünenbildung spielt der Meersenf (Cakile maritima). Die Säume hoher und besonders hoher Fluten, die ihm als bevorzugte Siedlungszone dienen, werden daher als Meersenf-Spülsäume (TÜXEN, 1950) klassifiziert. Auf die Pflanzen dieser Gesellschaft, ihre Arten, Deckung, Lebensform usw. braucht - und das gilt auch für die eigentlichen dünenbildenden Gräser - nicht ausführlich eingegangen zu werden. Sie haben nämlich nicht nur bereits häufig den Gegenstand von allgemeinen Untersuchungen abgegeben, sondern sind auch hinsichtlich ihres Auftretens zumindest im westlichen, alten Teil Spiekeroogs bereits unter pflanzengesellschaftlichen Aspekten beschrieben worden (WIEMANN u. DOMKE, 1967). Was den Strandweizen betrifft, gilt das auch für weite Teile der Ostplate (MEIJERING, 1964).

Zunächst abgesehen von dem Umstand, daß sich der Meersenf auf einem Standort einstellt, der noch nicht endgültig vor der Einwirkung des Wasser sicher ist, wird er nicht in dem Maße als Sandfänger tätig wie die meisten Pflanzen der Folgegesellschaften. Er nimmt zwar Einfluß auf den ihn passierenden materialhaltigen Luftstrom und führt

a. auf seiner Luvseite infolge der hier beim Auf- und Zurückprallen der Luft zustande kommenden Interferenzzonen und

b. in noch weit stärkerem Maße im Strömungsschatten seiner Leeseite

Sandniederschlag herbei. Die Anhäufungen, sie sich auf diese Weise zwischen und neben den Hindernisdünen ergeben, erreichen jedoch nur eine geringe Mächtigkeit. Das ist dem Umstand zuzuschreiben, daß die Pflanzen in ihrer Gesamtheit nicht sehr dicht stehen. Außerdem treten die einzelnen Exemplare der Form nach dem Wind nicht als ausreichend großes Hindernis entgegen, um mächtigere Anhäufungsgebilde entstehenzulassen.

Die Dünen sind als mehr oder weniger weit windabwärts ausgezoge-

Abb. 122

Abb. 123

Abb. 122 - 125

Erste organogene Dünenbildung im Spülsaumbereich hoher (winterlicher) Fluten. Je nach Lagerungsdichte des Treibzeugs und Lage des Standortes entstehen einzelne Dünchen (Abb. 122 - 124) oder ganze Dünchenketten (Abb. 125). Neben den typischen Spülsaumpflanzen tritt bereits hier Strandweizen stellenweise als Dünenbildner auf.

Abb. 122 u. 123: Spülsaumdünchen auf dem mittleren bis oberen trockenen N-Strand der westlichen Ostplate

Abb. 124

Abb. 125

Abb. 124 u. 125: Spülsaumdünchen auf dem oberen trockenen SW-Strand des westlichen Inselteils

ne, kuppenförmige Sandhaufen ausgebildet. Sie erlangen eine maximale Höhe von 50 bis 60 cm und weisen zumeist einen weitgehend unbefestigten, also um- und abbaubaren Leeschwanz auf. Je nach Windrichtung und -stärke können sie, nach ähnlichen Gesetzmäßigkeiten wie die oben beschriebenen Hindernisdünen, mit den vergänglichen bzw. etwas dauerhaften Gebilden in ihrer Nachbarschaft zusammenwachsen, so daß eine Kette aus teils befestigten, teils unbefestigten Anhäufungen entsteht. Von der Siedlungsdichte der Pflanzen hängt es ab, ob diese Kette wenige oder viele, schmale oder breite Unterbrechungen aufweist.

Das durchweg geringe Volumen ihrer Anhäufungen ist für die Lebensdauer der Frühformen der organogenen Dünenbildung im Spülsaumbereich und damit für die weitere Aufhöhung und Begrünung der Ostplate weniger ausschlaggebend als die Tatsache, daß es sich bei den sie erzeugenden Pflanzen um eine ephemere, im Herbst absterbende Gesellschaft auf einem noch nicht dauerhaft überflutungssicheren Standort handelt.

Wenn die Pflanzen absterben, verlieren die Anhäufungsgebilde erheblich an Stabilität. Wind und Wasser finden nun günstigere Bedingungen für eine Bearbeitung vor als im Sommer: Die hohen Fluten des Winterhalbjahres führen - vorausgesetzt, daß sie mindestens bis zum Saumbereich auflaufen - als zeitweilig wirksamer vierter Gestaltungsfaktor eine teilweise Zerstörung oder wenigstens den Abbau der exponiertesten Dünenabschnitte herbei. Ein Abtransport des gelösten Materials findet - was für die Düneninselentwicklung sehr bedeutsam ist - in der Regel nicht statt. Je nach der Wellentätigkeit und Strömungsgeschwindigkeit des Wassers wird es vielmehr weit oder weniger weit auseinandergewalzt und bleibt daher dem Standort oder dem ihm benachbarten Gelände erhalten, so daß eine günstige Ausgangsbasis für die Folgegesellschaften entsteht. Damit tragen die Frühformen indirekt zum Aufbau von wirklich lagestabilen, dauerhaften Anhäufungsformen bei.

3.2.2.2.2 Ihr Beitrag zur Standortvorbereitung für die Dünengräser und die Platenaufhöhung

Die Aufhöhung ist allerdings nicht ganz so groß, wie man annehmen sollte, denn selbst das nach Wassereinwirkung zurückgelassene Material verharrt nicht gänzlich an Ort und Stelle: Es wird vom Wind teilweise fortgeblasen und erfährt damit eine zweite Gestaltung durch den gleichen Faktor.

Wenn auflandige Richtungen vorherrschen,

a. kommt es der Dünenbildung im Bereich des nun frisch angelegten Spülsaumes zugute oder

b. trägt im Platenzentrum zur weiteren Aufhöhung und damit zur weiteren meerwärtigen Verlagerung der MThw-Linie bei.

Herrschen ablandige Winde vor, gerät der Sand wieder in den Einfluß des Wassers, von dem er - wie in anderen Platenstadien - entweder erneut zur Ausblasung auf den Strand geworfen oder im Bereich des oberen Vorstrandes bzw. nassen Strandes ostwärts verfrachtet wird. Dabei gehen

nicht alle Teile der Ostplate verloren; das Material ist nämlich so feinkörnig, daß es auch von jenem Wasser in Suspension gehalten und wieder auf den Strand gebracht wird, das nur mit geringer Wellentätigkeit aufläuft.

Das ehemalige Dünenmaterial kann außerdem erneut mit dem Wasser in Berührung kommen, auch ohne daß der Wind beteiligt ist. Es wird in diesem Fall allerdings nicht dem Lagerplatz entzogen, sondern dort gleichsam fixiert: Die sehr hoch auflaufenden oder zumindest bis zum höchsten Spülsaum vordringenden Fluten führen, wie an anderer Stelle gezeigt wurde, im allgemeinen große Sandmassen herbei. Diese lagern sich vornehmlich auf dem oberen trockenen Strand ab, wenn das Transportvermögen des Wassers erlahmt, und werden dort folgendermaßen wirksam:

a. Sie tragen ebenfalls zum Emporwachsen der zentralen Teile der Plate bei.

b. Sie sorgen für eine Vermischung oder - was dem Abtransport des auseinandergewalzten Sandes der Kette aus Hindernisdünen HDb und frühen organogenen Bildungen noch mehr entgegensteht - sogar für eine Überlagerung und damit weitgehend dauerhafte Festlegung des ursprünglichen Anhäufungsmaterials.

Dieses steht nun nur in beschränktem Umfang oder gar nicht mehr dem Wind zur Ausblasung zur Verfügung. Statt dessen kommt es unter seiner Einwirkung zur Selektion des zuletzt angeschwemmten Sandes, dem nach und nach die feinkörnigen Partikel entzogen werden.

Die annuellen Nitrophyten fungieren nicht nur als mehr oder weniger mäßige Dünenbauer während der Sommermonate. Sie tragen darüber hinaus auf andere Weise zur Aufhöhung und Sicherung der Ostplate bei, und zwar in noch erheblicherem Maße als über den Umweg der Standortaufhöhung auf der Grundlage ihres auseinandergewalzten Materials: Der Humus aus den im Hernst absterbenden Pflanzen dient im folgenden Frühjahr als Nährstoffgrundlage für die Keimung des eigenen Samens und - das ist in Hinblick auf die Düneninselentwicklung noch wichtiger als die Sandfangfunktion - als Keimbett des Strandweizens bzw. -hafers.

Bisher wurde zum Ausdruck gebracht, daß die Frühformen der dauerhaften 3-Faktoren-Dünen als mehr indirekt als direkt wirksame Ausgangspunkte der dauerhaften Dünenentwicklung anzusehen sind. Werden sie während der Sommermonate allerdings von Folgepflanzen (= Dünengräser) eingenommen, so stellen sie die erste unmittelbare Stufe von dauerhaften Dünenbildungen dar.

Sobald sich diese Pflanzen angesiedelt haben, vermögen es nämlich sogar hohe winterliche Fluten nicht mehr oder nur noch in beschränktem Maße, die von ihnen entwickelten Dünen im Bereich des höchsten Spülsaums abzubauen und deren Sand auseinanderzuwalzen: Die Dünen zeichnen sich jetzt durch ein rasches Breiten- und Höhenwachstum aus, weil ihre Gräser eine ganz erheblich umfangreichere Sandhäufung und -festlegung herbeiführen als die Spülsaumpflanzen selbst auf einem sehr ruhigen, weitgehend überflutungssicheren Standort.

3.2.3 Das Düneninselstadium II

(= Die 1. Vollformen der dauerhaften 3-Faktoren-DÜnen: die Strandweizendünen)

3.2.3.1 Die Voraussetzungen für die Begrünung der Aufhöhungsgebiete

3.2.3.1.1 Die Sandzufuhr aus den Akkumulationsgebilden der Säume SPb

Innerhalb der Spülsäume SPb findet eine verhältnismäßig rasche Sandanhäufung statt: Da mit Ausnahme des südlichen, zum Watt hin exponierten Vorgeländes sich rundherum ausgedehnte, ergiebige Materialquellen befinden, die zumindest in den meernächsten Abschnitten ständig mit frischem, unselektiertem Material angereichert werden, erfahren die DÜnen im Saumbereich und im Anschluß daran eine rasche vertikale und horizontale Erweiterung. Dazu trägt auch der Umstand bei, daß diese sandliefernden Flächen hier nicht - wie es heute im Dünenbildungsgebiet im NO bis O und SW des westlichen Inselteils der Fall ist - durch irgendwelche hohen Dünenzüge (bis 20 m) dem Einfluß wenigstens der Winde der einen oder anderen Richtung ganz oder teilweise entzogen werden. Sie sind vielmehr allen Winden im Grunde gleichermaßen zugänglich.

Sowohl die Anhäufungsformen in Verbindung mit Hindernissen (HDb) als auch die Bildungen auf der Grundlage von Saumpflanzen geben aber selbst bei ständiger Materialzufuhr aus den vorgelagerten Strandflächen eine große Menge Sand ab. Daß dafür auch die letztgenannten Gebilde in Frage kommen, hat folgende Ursache:

Den Saumpflanzen mißlingt es nicht nur, das Material zu binden, das seitlich über die Flanken ihrer DÜnen fließt, sie können auch längst nicht allen niedergeschlagenen Sand in ihrem Luv und schon gar nicht den in ihrem Lee einigermaßen dauerhaft festlegen. Die für eine Fixierung verantwortlichen Vorgänge des Durchwachsens sind nämlich bei ihnen nicht bzw. unvollkommen gegeben oder laufen zu langsam ab, um einen windabwärtigen Abtransport zu verhindern.

Besonders ausgeprägt ist der Materialentzug bei Winddrehungen: Die Zentren der luv- und leeseitigen Anhäufungszone, die jetzt nicht mehr durch den Pflanzenhorst oder - im Fall einer Hindernisdüne - durch den Gegenstand stabilisiert werden, verlagern sich, je nach dem Ausmaß der Drehung und dem Abstand zur nächsten Düne, mehr oder weniger weit um den Horst bzw. Gegenstand herum. Die Materialbewegung beschränkt sich aber nicht auf eine solche Umlagerung direkt am Standort; es geht auch ein Teil der ursprünglichen Substanz der Anhäufungszonen verloren.

Selbst wenn man außer acht läßt, daß der um- und abbauende Wind gleichzeitig frischen Sand aus den rückwärtigen Materialquellen heranführt, eine neue Luv- und Leehangzone schafft und damit die Verluste ausgleicht, bleibt der Abtransport jedoch für die weitere Platenentwicklung ohne negative Folgen; das Gegenteil ist der Fall:

Der abgewehte Sand gelangt nämlich in die Aufhöhungsgebiete, die sich jeweils anschließen und innerhalb deren randlicher Begrenzung die windüberformten, materialabgegebenden Saumdünen Glieder darstellen. Dort wird er, zusammen mit frischem, noch keinmal zu Dünen akkumuliertem Material, nach den genannten Gesetzmäßigkeiten des Sandtransportes über eine lockerkörnige Strömungssohle niedergeschlagen. Dazu tragen bei:

a. vereinzelte große Gegenstände, die aus dem frühen Spülsaum (SPa) stammen und wegen ihres Umfangs noch nicht völlig eingesandet sind;

b. erste Strandweizen- und -haferpflanzen als Pioniere der dauerhaften Begrünung sobald eine Höhenlage über dem Niveau des Saumes und damit eine noch geringere Überflutungshäufigkeit gegeben ist.

Auch wenn große Teile durch diese Gräser nicht festgelegt würden, ginge der Sand von den umliegenden vergänglichen bzw. einigermaßen beständigen Saumdünen sowie jener von den Strandflächen davor nur teilweise wieder verloren. Die Anlage dieser Dünen als etwa ringförmige Kette sorgt nämlich ganz von selbst dafür, daß er - abgesehen von den kettenübersteigenden feinen Bestandteilen - nicht in vollem Umfang wieder abtransportiert wird. - Eine Ausnahme ergibt sich durch die Öffnungen in der Kette; sie sind auf der Wattseite ziemlich häufig, weil dort von Anfang an die Treibzeuganlandung am geringsten gewesen ist.

Wie verändert das eingewehte Material die Aufhöhungsgebiete, wie bereitet es ihre Besiedlung durch begrünte, dauerhafte Dünen vor?

Nicht aller Sand schlägt sich allein im Zentrum der Aufhöhungsgebiete nieder; eine beträchtliche Menge wird auch gegen die Dünen der jeweils windabwärtigen Abschnitte des Saums geblasen und dort auf der Luv- und Leeseite angehäuft. Material direkt von den Strandflächen kommt daneben den windseitigen Kettenteilen zugute, die dem Materialentzug in Richtung Aufhöhungsgebiet unterliegen. Es findet also immer eine positive Veränderung der Höhenverhältnisse sowohl zum Zentrum der Aufhöhungsgebiete als auch - trotz aller Umlagerungs- und Entzugsvorgänge an den Saumdünen - nach ihren Außenseiten hin statt.

Bei westlichen Winden wird vornehmlich auf der Grundlage der leeseitigen Vergrößerung der windaufwärtigen Saumabschnitte, für das vertikale Wachstum der westlichen Teile der Aufhöhungsgebiete gesorgt. Auf der gegenüberliegenden östlichen Seite spielt sich die Materialanhäufung auf der Luvseite der dortigen Dünen ab. Da jedoch auch viel, wenn nicht sogar das meiste Material in ihrem Lee sich niederschlägt, erfolgt mehr eine nach O gerichtete Ausweitung der eingeschlossenen Flächen als ihre Aufhöhung zum Zentrum hin. Das bedeutet: Jedes Aufhöhungsgebiet dehnt sich in die Vertiefung hinein aus, die es vom nächsten, östlicheren Aufhöhungsgebiet trennt.

Bei östlichen Winden erfolgt Materialniederschlag im Dünenlee der östlichen, jetzt windaufwärtigen Saumabschnitte und damit ein verstärktes Emporwachsen der östlichen Teile der Aufhöhungsgebiete. Im Bereich der westlichen, windabwärtigen Abschnitte kommt es in-

folge von luvseitiger Sandanhäufung zwar ebenfalls zur direkten Aufhöhung; durch den stärkeren Niederschlag im Dünenlee tritt aber - umgekehrt als bei der Gestaltung durch westliche Winde - ein noch bedeutenderes Wachstum nach W in die jeweils anschließende Vertiefung hinein auf.

Es ergibt sich also unter Einwirkung ungefähr entgegengesetzter Winde einerseits 1. ein starkes vertikales Wachstum der windaufwärtigen Abschnitte der Aufhöhungsgebiete und gleichzeitig 2. eine Aufhöhung und vor allem Ausdehnung im gegenüberliegenden Spülsaumbereich, andererseits der genau umgekehrte Vorgang.

Da die westlichen bis nordwestlichen Winde nach der tatsächlichen Transportleistung allerdings bei weitem vorherrschen, sind die Aufhöhung der westlichen Teile der Aufhöhungsgebiete von W/NW nach O/SO und die ungefähr O- bis SO-gerichtete Ausdehnung und Aufhöhung über die östlichen Abschnitte der Dünenkette des Saums hinaus und in die jeweils anschließende Vertiefung hinein im ganzen am größten. - Diese Aufhöhungs- und Ausdehnungstendenzen bleiben auch für die gesamte Entwicklung der nachfolgenden Dünenkomplexe auf der Basis von Strandweizen bzw. -hafer charakteristisch.

3.2.3.1.2 Die Deichfunktion der SPb-Dünen

Als weiterer wichtiger Grund für die beginnende Besiedlung der Aufhöhungsgebiete durch dauerhafte 3-Faktoren-Dünen kommt der Umstand in Betracht, wonach das Wasser als abbauende Kraft keine so große Rolle mehr spielt wie bisher. Die Gebiete weisen nämlich infolge der zwar allmählichen, jedoch ständigen Aufhöhung und teilweisen Ausdehnung schon eine so günstige durchschnittliche Höhenlage (= knapp 1 m über MThw = ca. 2,27 m NN) auf, daß nur noch bei sehr hohen Flutständen ihre völlige oder teilweise Überflutung erfolgt.

Marine Erosion macht sich kaum bemerkbar. Das gilt für Flutstände, unter derem Einfluß wenigstens die am tiefsten gelegenen Abschnitte der Aufhöhungsgebiete eigentlich erreicht und überflutet werden müßten: Die Hindernisdünen HDb und vor allem die Frühformen der dauerhaften Dünenbildung, die wegen ihrer größeren Stabilität besonders im sommerlichen Zustand dem auflaufenden Wasser noch stärkeren Widerstand entgegensetzen als HDb, fungieren zusammen gleichsam als Deich; dieser ragt ganz oder teilweise geschlossen über das umliegende Gelände empor. Daher erlangen sowohl die Strömungen direkt von See oder vom Watt her als auch die aus den Vertiefungen zwischen den einzelnen Aufhöhungsgebieten nur an wenigen Stellen Zutritt.

Der Deich hält aber nicht nur die so jeweils am weitesten ansteigenden Wellen von einem möglicherweise noch weiteren Vordringer ab. Folgender Vorgang scheint für das Zustandekommen und Fortbestehen stabiler Dünen im Bereich der Aufhöhungsgebiete noch wesentlicher zu sein: Die Saumgebilde setzen die erodierende Wirksamkeit sogar der sehr hohen Fluten mit heftiger Wellentätigkeit und starker Strömungsgeschwindigkeit, von denen die Aufhöhungsgebiete in jedem Fall überspült werden, unmittelbar vor ihrem Ziel beträchtlich herab. Das geschieht häufig in derartigem

Umfang, daß an den Dünen nur solche Schäden entstehen, die von ihren Gräsern selber über kurz oder lang beseitigt werden können, und zwar dank der hier ständig umfangreichen Materialzufuhr.

Daß die abbauenden Kräfte abgeschwächt bzw. gebrochen werden, erfolgt allerdings auf Kosten der Saumdünen. Sie geraten stärker in Zerstörung als die von ihnen weitgehend geschützten Bildungen auf den eingeschlossenen Gebieten. Das gilt vor allem für die Hindernisdünen HDb. Die Zerstörung schreitet am schnellsten in den Abschnitten auf der Seeseite und auf den Seiten zu den Vertiefungen voran. Im letzten Fall wird das Wasser sehr häufig eingeengt und beschleunigt, so daß es nach den Seiten hin abbauend wirkt. Obwohl die Vertiefungen noch durchweg weiter sind als heute und die Strömungen daher weniger komprimiert werden, ist der Abbau hier verhältnismäßig groß:

Wie bereits im Abschnitt 3.2.2.2.1 angedeutet wurde, sind die Saumdünen längst nicht so widerstandsfähig wie die Walzendünen, die später - infolge der ständigen Ausweitung der begrünten Dünen von der Zentren der Aufhöhungsgebiete her - an ihre Stelle treten und die Begrenzung zu den Vertiefungen darstellen. Was allein schon die Größe betrifft, spielen sie eine wesentlich geringere Rolle als die Nachfolgegebilde. Das fällt vor allem auf, wenn man sie an den engliegenden Dünen mißt, die heute im Bereich der Dünenkomplexe der westlichen Ostplate als Randdünen fungieren

3.2.3.1.3 Die Nährstoffgrundlage der Standorte

Nachdem die günstige Lage der Aufhöhungsgebiete zum mittleren Hochwasser und die damit in ursächlichem Zusammenhang stehende Schutzfunktion der SPb-Dünen als wesentliche Bedingung für die Ansiedlung und Ausbreitung von Pflanzen zur dauerhaften Dünenbildung erkannt worden sind, muß nun gefragt werden:

Welche Voraussetzungen bieten die Aufhöhungsgebiete für die Begrünung und das pflanzenbedingte Emporwachsen in Bezug auf die Nährstoffverhältnisse des Standortes?

Die Zerfallsstoffe des organischen Treibzeugs:

Hinsichtlich des Nährstoffgehaltes und damit hinsichtlich der Keimungs- und Wachstumsbedingungen darf der Einfluß der Spülsäume auf die Aufhöhungsgebiete nicht überschätzt werden: Das günstige Keimbett, das sich in ihnen infolge des Zerfalls von angelandetem organischen Treibzeug zunächst ergeben hat (vgl. 3.2.2.1.2: Nährstoffverhältnisse im Spülsaumgebiet), verliert nämlich weitgehend seine ursprüngliche Bedeutung. Dafür sind Auswaschungs- und Auslaugungsvorgänge verantwortlich, die sich auf der Grundlage von Regen, gelegentlich von Meerwasser und möglicherweise an manchen Stellen auch von Grundwasser vollziehen. Dabei werden die Stickstoff- und Phosphorverbindungen entfernt, die beim Zerfallsprozeß entstehen.

Wie die heutigen jungen Aufhöhungsgebiete in den zentralen Teilen der östlichen Ostplate (= im Zustand des Begrünungsbeginns) zeigen, stellt sich Strandweizen jedoch trotz der verhältnismäßig geringen Menge an Zerfallsprodukten im Boden rasch und in großer Zahl ein. Obwohl dadurch auch noch der restliche Teil dieser Produkte schnell reduziert wird, bilden sich Dünen mit zunehmendem vertikalen und horizontalen Wachstum. Das verdeutlicht, daß der Weizen hier wie auch jener der frühen Aufhöhungsgebiete die genannten Nährstoffe nicht oder nur in sehr beschränktem Umfang allein aus dem Standort erhalten.

Die hauptsächliche Zufuhr erfolgt jetzt durch den Sand selber, und zwar in Form der bekannten Verdunstungsschichten auf den Körnern. Diese basieren auf den im Seewasser gelösten Stoffen, wie sie zum erheblichen Teil beim Verwesen und Verfaulen organischen Materials im Bereich der ungefähr mittleren Flutsäume entstehen. Unter Einwirkung von Regen- und Grundwasser werden sie nun in den Anhäufungen von den Körnern abgelöst, im Sand gelagert und dann durch die Pflanzen gebunden. Sie gehen also nicht wie in den wenig dauerhaften, wenig lagestabilen Sandfiguren der offenen Strandfläche (= physikalische Bildungen) verloren. - Die Folgen: Steigerung des Adsorptionsvermögens und der Wasserkapazität; das bedeutet u. a. Verbesserung des Mikroklimas und damit vermehrte Keimungsmöglichkeiten.

Aufgrund der günstigen Lage der Aufhöhungsgebiete zu den Lieferzonen und den dominierenden Windrichtungen wird fast ständig nährstoffreicher Sand herangeführt. Es spielt für seine Verwendbarkeit durch die Vegetation keine Rolle, ob er direkt aus den Materialquellen des nassen bzw. unteren trockenen Strandes kommt oder ob er seinen Weg über Zwischenstationen (= HDb-Dünen bzw. Frühformen der organogenen Dünenbildung) nimmt, also während des Transportes eine gewisse Verzögerung erfährt. Diese bleibt nämlich nur auf wenige Stunden oder - bei Windstillen, Stärken unter 4 Bft und ungünstigen Windrichtungen - einige Tage beschränkt, weil der Sand hier keinesfalls über längere Zeiträume hinweg festgelegt wird:

Wie gesagt wurde, beruhen die Frühformen nur auf beschränkt sandfangenden und -bindenden Pflanzen, so daß angewehtes Material sehr schnell einen Abstransport in die Aufhöhungsgebiete erfährt. Da die Gebilde HDb sowieso nicht in Verbindung mit Pflanzen entstehen, kann nicht allein der Sand, der nach Erreichen ihrer maximalen Gestalt übrigbleibt, dem Wachstum von Strandweizen dienen, sondern auch jener, der ihre eigentliche Substanz darstellt. Voraussetzung ist allerdings, daß er - was in noch stärkerem Maße für das Material aus den Frühformen zutrifft - nicht doch durch längere Lagerung an der gleichen Stelle eine Ablösung der Nährstoffschichten erfahren hat.

Aus diesem Grunde ist auch der Sand aus begrünten Dünen höheren Alters, wie sie weitgehendst den Formenschatz des alten Dünengeländes Spiekeroogs ausmachen, ungeeigneter als Sand direkt vom nassen Strand. Wenn derartig nährstoffarmes Auswehungsmaterial in den Bereich der beginnenden Begrünung der Aufhöhungsgebiete gerät, kann es - schichtweise und deshalb verträglich - zur substanzvergrößernden Übersandung der entstehenden Dünen dienen. Zur Anlage von eigenständigen, d. h. so gut wie ausschließlich auf seiner Einwirkung basierenden dauerhaften 3-Faktoren-Dünen, ist es jedoch nicht in der Lage. Der ehemalige Dünensand hat also nur indirekten Einfluß auf die Dünenbildung und -ausweitung.

Um die unterschiedliche Wirkung von älterem Dünensand und frischem Strandsand aufzuzeigen, sollen einige Weizendünen in Hinblick auf den Pflanzenhabitus und besonders die äußere Form der Anhäufungen miteinander verglichen werden. Sie verfügen zwar über die fast gleiche Lage zur MThw-Linie, gehören jedoch jeweils der anderen Einflußsphäre an. - Es handelt sich zum einen um durch schnittlich große Gebilde eines der westlichen Dünenkomplexe der Plate, zum anderen um Dünen im platenseitigen Vorfeld des Dünengeländes des westlichen Inselteils.

Da seine Randdünen längst nicht so alt sind wie die dorfnäheren Dünen seines Zentrum, wird das von ihnen abgewehte Material allerdings eine etwas positivere Rollen spielen als wirklich alter Sand. Dieser kann die Vergleichsdünen selbst bei normalen SW-Winden nur in viel kleineren Mengen und dann auch ausschließlich in Verbindung mit dem kürzer gelagerten Material der Randdünen erreichen, weil diese - trotz ihrer zahlreichen Windrisse - gleichsam als Barriere den Weg ins platenseitige Vorfeld etwas versperren.

Ergebnisse des Vergleichs: Obwohl auch die Dünen vor dem NO-Rand des alten Dünengeländes also nicht ständig mit schon einmal verarbeitetem Sand versorgt werden und ihnen außerdem während O-Wind-Perioden und unter Einwirkung nördlicher Winde direkt Strandsand zugeführt wird, sind sie als abgeflachte, runde Formen ausgebildet. Infolge der unterschiedlich starken Vergrößerung der luv- und leeseitigen Anhäufungszonen haben sie leicht asymmetrische Kuppen. Die sie verursachenden Pflanzen weisen eine Höhe von 40 bis 50 cm auf. - Die Dünen der Ostplate basieren auf kräftigeren, 60 bis 70 cm hohen Weizenexemplaren. Sie verfügen deshalb über größere horizontale und vertikale Ausmaße. Letztere kommen in einem teilweise sehr deutlich ausgeprägten luvseitigen Böschungswinkel zum Ausdruck; er zeigt starkes Höhenwachstum an.

Die Salzzufuhr:

Der Salzbedarf des Weizens wird zum Teil oberirdisch, zum Teil im Boden gedeckt:

Im ersten Fall erfolgt die Zufuhr durch den auflandigen Luftstrom. Er enthält reichlich jene Salzwassertropfen, die vor allem im Brandungsbereich versprüht und dann durch Verdunstung stark konzentriert werden. Im zweiten Fall kommt es auf den Salzgehalt im Boden- und Grundwasser an. Dieser darf einen bestimmten Umfang nicht über-, aber auch nicht unterschreiten. Nach MEIJERING (1964) gedeiht Weizen am besten bei einem Gehalt zwischen 16 und 24 g je Liter Bodenwasser und ist daher als ein Halophyt des Brackwassers zu bezeichnen, denn das reine Nordseewasser enthält im Küstenbereich etwa 32 bis 33 g Salz/l.

Wenn sie nicht gerade auf einem extremen Standort siedelt (= im Bereich von ständig a. zu hohem Salzgehalt oder b. zu starker Aussüßung des Bodenwassers und zu großer Tiefe von salzigem Grundwasser), paßt sich die Pflanze so den jeweiligen Verhältnissen an, daß sie immer gerade die günstige Konzentration vorfinden und auswerten kann:

In niedrigen Dünen liegt der geeignete Wert im Bodenwasser der oberen Sandschichten vor. Hier wird nämlich der hohe Salzgehalt, der zum einen durch die gelegentlichen Überflutungen von außen her und zum anderen durch das kapillar aufsteigende salzige Grundwasser bedingt ist, vom Regen ungefähr auf Brackwasserstärke herabgesetzt. Der Weizen bildet deshalb die meisten Wurzelhaare, durch die die Wasseraufnahme erfolgt, nur wenig unterhalb der Dünenoberfläche aus.

Nimmt die Dünenhöhe später zu, geht die Zahl der Überflutungen zurück und damit die äußere Salzzufuhr in die oberen Schichten. Da auch der Aufstieg des Grundwassers nachläßt, schreitet die regenbedingte Aussüßung voran. Der Weizen reagiert darauf, indem er seinen Salzbedarf jetzt durch die Wurzelhaare im mittleren oder unteren Teil des Wurzelstocks deckt. Dieser entspricht in seiner Länge ungefähr der Dünenhöhe; er reicht also zumindest teilweise in den Abschnitt des brackigen Bodenwassers und somit bis zur günstigen Konzentration hinab.

Rückblickend auf die letzten Abschnitte, die sich mit den Voraussetzungen für die Begrünung und das weitere Emporwachsen der Aufhöhungsgebiete befaßt haben, ist festzustellen:

Die Lage der Aufhöhungsgebiete der Ostplate ergibt sich zwangsläufig. Das gilt in noch stärkerem Maße für ihre weitere Entwicklung zu ständig überflutungssicheren, von dauerhaften Dünengräsern gestalteten Platenteilen. Befänden sich diese Gebiete an Stellen, die 1. nicht fortgesetzt im Einflußbereich der Zufuhr frischen, hinsichtlich der Nährstoffschichten unverbrauchten Materials und 2. ständig in einem ungünstigeren Abstand zur MThw-Linie (= weniger als etwa 0,8 m) lägen, käme es nur in beschränktem Umfang zur Ansiedlung der Pflanzen des Düneninselstadiums II und gar nicht zu der der Folgevegetation. Damit bliebe das weitere rasche Emporwachsen dieser Gebiete und ihre Vergrößerung auf der Grundlage der Bildung und Ausweitung von dauerhaften, lagestabilen Dünen aus. Das hätte folgende Bedeutung: Der abbauende Einfluß des Wassers würde nicht völlig ausgeschaltet. Die Entwicklung der "reifen" Strandinsel zur dünentragenden, so gut wie immer überflutungssicheren Insel bzw. zum Teil davon ergäbe sich somit nicht oder nur in Ansätzen.

3.2.3.2 Die Ansiedlung von Strandweizendünen

(= Die erste Begrünung der Aufhöhungsgebiete)

Da der Strandweizen (= Agropyron junceum) viel brüchiger und eher vergänglich ist als der Strandhafer und - was in Hinblick auf die Menge des durch ihn angehäuften Materials besonders schwer wiegt - seine Halme und Stengel weniger dicht stehen und auch nicht so groß sind, fungiert es als schlechterer Sandfänger. Er bringt dennoch umfangreiche Materialmengen zum Niederschlag. Das geschieht selbst dann, wenn es sich um einen so gut wie vegetativ bleibenden Pionier handelt. Es ist allerdings infolge der Einwirkung der dünenum- und -abbauenden Erscheinungen, wie sie vor allem durch die Wasserkräfte gegeben sind, keines-

wegs so, daß sich der Sand dieser frühen Pflanzen auf allen Standorten halten kann, um zu verhältnismäßig stabilen Dünen gebunden zu werden.

Wie unten dargestellt ist, trifft das besonders für den Weizen der Initialphase im Bereich mehr oder weniger häufiger Überflutungen außerhalb der Aufhöhungsgebiete oder in ihrem Vorgelände zu. Weniger bzw. gar nicht betroffen sind dagegen Pflanzen, die stellenweise in der Nachbarschaft von Meersenf sowie seiner Begleitpflanzen im Gebiet der SPb-Säume auftreten und wesentlich seltener überflutet werden. Das gilt auch für den jungen Weizen auf den Aufhöhungsgebieten, der dem Wasser - dank der Schutzfunktion der HDb-Dünen und der Dünen in Verbindung mit Spülsaumpflanzen - in der Regel noch etwas stärker entzogen ist.

Tritt bei weiterem Emporwachsen der Aufhöhungsgebiete an die Stelle des Pioniertyps der Typ der Optimalphase, ergibt sich ein besonders bedeutsamer Materialniederschlag. Seine Halme und Stengel sind nämlich breiter und höher; außerdem erreichen sie eine wesentlich größere Dichte. Der angehäufte Sand bleibt jedoch weit hinter der Materialmenge zurück, die vom Hafer des vergleichbaren und sogar des initialen Typs gefangen wird.

3.2.3.2.1 Die frühen Weizendünen auf unterschiedlich hohen Standorten unter besonderer Berücksichtigung der Aufhöhungsgebiete

Wenn die Aufhöhungsgebiete über eine Höhenlage von 0,90 bis 1,00 m MThw (= 2,17 bis 2,27 m NN) verfügen, stellt sich auf ihnen Strandweizen im großen Rahmen ein: Die Begrünung beginnt. Er erzeugt bei einer Stengel- und Halmhöhe von zunächst 30 bis 50 cm Dünen von einer Mächtigkeit bis zu 70 cm Höhe. Sie haben die Gestalt von flachen, rundlichen Kuppen; durch die Luv- und Leehangbildung sind sie leicht asymmetrisch (Abb. 126/27). Von einer ausgeprägten leeseitigen Sandfahne bei Windrichtungskonstanz abgesehen, weiten sie sich seitlich und windabwärts nur erst wenig aus. Typisch ist freilich schon jetzt, daß sie mehr in großen Gruppen als in Form von isoliertstehenden Gebilden auftreten. Dadurch ist die Möglichkeit zum raschen Zusammenschluß von vornherein gegeben.

Im Vergleich zu den Folgeformen, die bei weiterer Standortaufhöhung in Verbindung mit Weizenpflanzen des Optimaltyps aus ihnen hervorgehen und sich zuerst vor allem in den von Anfang an am weitesten entwickelten westlichen Aufhöhungsgebieten ausbreiten, stellen die kuppigen Dünen allerdings erst durchweg mäßig hohe Gebilde dar. Den Weizendünen, die darüber hinaus zustande kommen, sind sie aber - was Größe und Entwicklungsfähigkeit und damit morphologische Bedeutung angeht - deutlich überlegen.

Bei diesen Dünen handelt es sich um Anhäufungsgebilde an verschiedenen Stellen mehr oder weniger weit außerhalb der Aufhöhungsgebiete. Sie treten nicht nur gleichzeitig mit der weitflächigen Dünenbildung auf, sondern schon vorher. In beiden Fällen verfügen sie aber über einen Standort, der in einem zum Teil erheblich ungünstigeren Abstand zum mittleren Hochwasser liegt:

Derartige Dünen werden bereits von jenem Weizen erzeugt, der sich sehr

frühzeitig im Gebiet der SpB-Säume vereinzelt ansiedelt, und zwar zeitlich zusammen mit den SpB-Pflanzen oder im Anschluß an ihre Ausbreitung. Neben der beschriebenen lokalen Aufhöhung sorgen diese ja für die Anlage eines nährstoffreichen Keimbettes. Davon macht der Weizen Gebrauch und bildet erste größere Dünen. Mit ihrer Höhe von etwa 50 bis 60 cm überragen sie die Spülsaumdünen teilweise.

Der Weizen siedelt außerdem sporadisch auf dem mittleren bis unteren trockenen Strand und befindet sich daher in besonders ungünstiger Lage zum mittleren Hochwasser. Die von ihm erzeugten Bildungen entsprechen jenen Dünchen, die heute an folgenden exponierten Stellen bestehen (Abb. 128 - 133):

a. im W bis SW der Übergangszone zwischen den westlichsten Dünenkomplexen der Ostplate und dem alten Dünengelände des Inselwestens und - was für den in absehbarer Zeit zu erwartenden Zusammenschluß der Platendünen mit den nordöstlichen Ausläufern des alten Dünengebietes noch wichtiger ist - vor allem

b. in ihrem fast gesamten nördlichen Teil, und zwar in einem Areal, das nicht weit vom Strandwall entfernt W-O-verläuft und mehrere hundert Quadratmeter groß ist,

c. vor dem Süd- und besonders dem N- bis NO-Rand des gesamten Dünengeländes der Ostplate.

Das läßt den Schluß zu: Die ersten Weizenpioniere und ihre Dünen vertragen Höhenlagen weit unter MThw + 0,90 m (= Höhe der Aufhöhungsgebiete als Voraussetzung des Begrünungsbeginns und der weitflächigen Dünenbildung). Sie weisen dann allerdings längst keinen so hohen und entwicklungsfähigen Wuchs wie die Pflanzen der Aufhöhungsgebiete auf, sondern gedeihen nur als Kümmerformen (Pflanzenhöhe: 20 bis 25 cm). Zur Dünenbildung sind sie also nur beschränkt tauglich.

Die geringe Wuchsfreudigkeit ist vornehmlich dadurch bedingt, daß die Wurzeln sehr rasch das salzige, leidlich bis gar nicht verträgliche Grundwasser (= um und über 30 g Salz/l) erreichen. Ein Ausgleich in Gestalt von mehreren Dezimeter hohen Dünen mit brackigem Bodenwasser zumindest in den oberen Schichten, wie es die Wurzeln des Weizens im Bereich der Aufhöhungsgebiete auf jeden Fall vorfinden (= als Ergebnis des Aussüßungsprozesses in Verbindung mit verminderter Grundwassereinwirkung), erfolgt nicht. Der Standort wird nämlich häufig überflutet (bis 20mal während des Winter-, bis 6mal während des Sommerhalbjahres). Das bedeutet:

Die abbauende Wassereinwirkung verhindert, daß sich ausgeprägte Anhäufungsformen ausbilden; die Dünen werden selbst in ihren am besten entwickelten Teilen nicht wesentlich höher als 30 cm. In ihnen kommt es zu so gut wie keiner Aussüßung. Sie unterbleibt nicht nur, weil dem Bodenwassee von außen so oft Salz zugeführt wird, sondern auch weil der Grundwasserspiegel so hoch liegt, daß der kapillare Anstieg beträchtlich ist. Da die Dünen ja nicht wachsen können, macht sich deshalb das aufsteigende Wasser sogar in ihren obersten Schichten bemerkbar, d. h. der sowieso geringen Aussüßung des Bodenwassers wird von unten her entgegengewirkt.

Es sind darüber hinaus noch niedrigere Anhäufungsgebilde anzutreffen.

Sie geben mindestens ebenso ungünstige Siedlungsbedingungen zu erkennen: Im NNW der westlichen Plate treten im Gebiet, das sich dem oben in b. beschriebenen weitflächigen Standort im N der Übergangszone zwischen Plate und westlichem Inselteil ostwärts anschließt, Weizenpioniere-auf. Da es dem Durchlaß im Strandwall nahe liegt, verfügt es über eine Höhenlage von 0,25 bis 0,35 m MThw. Trotz der daraus resultierenden Überflutungshäufigkeit hält sich der Weizen nicht nur, sondern dehnt sich noch aus. Er erzeugt bis jetzt freilich nur wenige Zentimeter hohe Anhäufungen.

Wenn auch die Mächtigkeit der Weizendünen außerhalb der Aufhöhungsgebiete in der Regel nur unbeträchtlich ist, so kommt diesen Formen doch morphologische Bedeutung zu: Da ihre Pflanzen - im Gegensatz zu den annuellen Nitrophyten - sehr selten vom Wasser ganz vernichtet und ihre Materialmassen völlig fortgeführt werden, findet ein zunächst zwar nur geringes, aber doch weitgehend kontinuierliches vertikales Wachstum des Standortes statt. Dieses verstärkt sich immer mehr und bedingt, daß Zahl und Größe der Weizenpflanzen und infolgedessen Volumen und Stabilität ihrer Dünen zunehmen. - Die Verbreitungszonen sogar der kümmerlichsten Weizenpioniere zeigen also an, wo sich über kurz oder lang neue-Aufhöhungsgebiete einstellen, wo die Entwicklung der Ostplate zur Düneninsel weitere Schwerpunkte erlangt.

3.2.3.2.2 Die Anhäufung und Verarbeitung des Flugsandes

Wie erfolgt der Materialniederschlag, und wie reagieren die Weizenpflanzen der Aufhöhungsgebiete darauf?

Bei den einzelnen Gebilden läßt sich zwar der weitaus meiste Materialniederschlag zwischen den Halmen und Stengeln des Rückens und vor allem in dessen Lee erkennen. Die für die Strandhaferdünen typischen Anhäufungszonen mit der jeweils charakteristischen Korngrößen-Zusammensetzung nach Einwirkung von Winden unterschiedlicher Stärken (vgl. unten: Düneninselstadium III) sind bei ihnen jedoch längst nicht so gut nachweisbar. Am besten kommen sie bei den weit auseinanderstehenden Pflanzen des Pioniertyps zum Ausdruck, denn diese treten dem Winde nur jeweils als eine Einheit und nicht als ganzer Hindernisverband entgegen.

Neu niedergeschlagener Sand hebt sich aufgrund seiner helleren Farbe besonders nach Regenfällen, aber auch sonst von dem des Zielgebietes ab. Die Gründe:

a. Er erfährt beim Transport bekanntermaßen eine stärkere, schnellere Trocknung als die Niederschlagsstelle. Handelt es sich dabei um Dünen, so ist der Farbunterschied besonders groß, denn infolge ihrer feineren Kapillarität halten diese Regenwasser besser als ihr Standort, der - besonders wenn er grobsandig ist - dem Wind intensivere Einwirkung erlaubt und daher eher abtrocknet.

b. Tritt als Zielgebiet der Boden des Standortes auf, spielen darüber hinaus Unterschiede in der Zusammensetzung eine wichtige Rolle. Das angewehte Material besteht aus feineren Quarzkörnern. Der Standort wurde nämlich in einem vorausgegangenen Stadium se-

Abb. 126

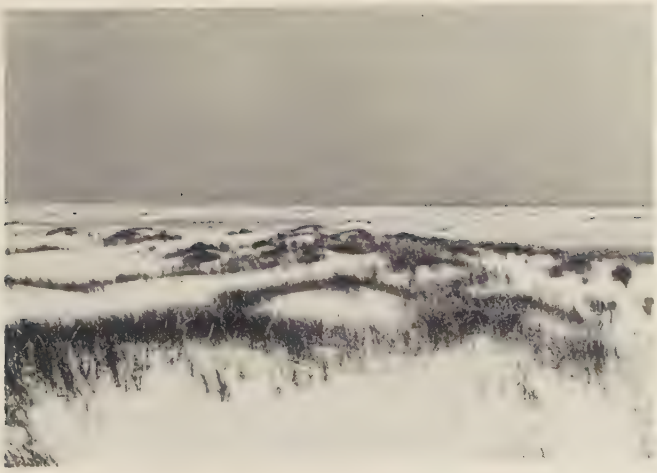


Abb. 127

Abb. 126: Strandweizendünen in Gestalt flacher, rundlicher Kuppen bilden den fast glatten, meerseitigen Rand eines der mittleren Aufhöhungsgebiete; Treibgut zeugt von gelegentlicher Überflutung (mittlere Ostplate, Blick N)

Abb. 127: Dichtes Strandweizenfeld, flachkuppig; mit weitgehend geschlossenem Rand; im Hintergrund: isolierte Weizendünen auf dem oberen trockenen Strand (Aufhöhungsgebiet westliche Ostplate, Blick NNO)

Abb. 128

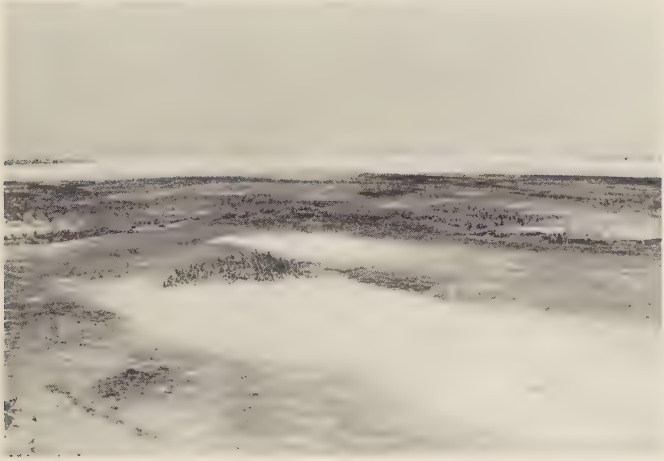


Abb. 129

Abb. 128: Junge Weizendünen im N der Übergangszone zwischen Spiekeroog und Ostplate (NW-Wind, Blick N)

Abb. 129: Junge Weizendünchen auf der Wattseite der Dünenkomplexe der mittleren Plate, Leeschwanz von NW-Winden angelegt (Blick N)

Abb. 130

Abb. 131

Abb. 130: Weites Areal mit Weizenpionieren im NW der Übergangszone zwischen Spiekeroog und Ostplate (Blick S)

Abb. 131: Zentrum des Areals mit Weizenpionieren im N der Übergangszone zwischen Spiekeroog und Ostplate, hier: im Strandwall-Lee kurz nach leichter Überflutung (Blick SW)

Abb. 132

Abb. 133

Abb. 132: Junge Weizendünchen auf dem mittleren trockenen Strand im N der westlichen Plate (Blick N)

Abb. 133: Stark exponierte Weizendünchen auf dem mittleren NO-Strand der Ostplate, einige Stunden nach heftigem Regen (W-Wind, Blick N)

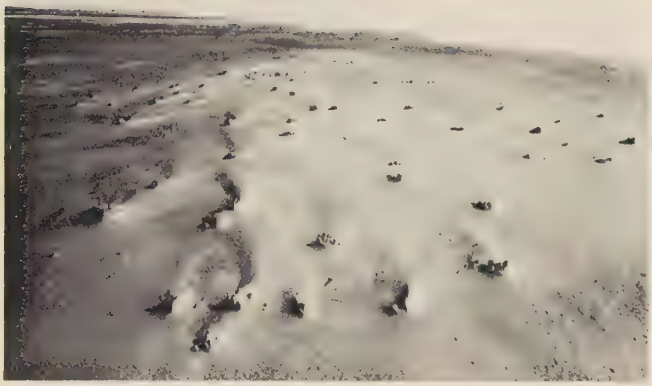


Abb. 134

Abb. 135

Abb. 134: Sandfahnen hinter wintertrockenem Strandweizen, von NW-Winden erzeugt (östliche Ostplate, Blick NW)

Abb. 135: Strandweizendünen, während der Vegetationspause von westlichen Winden übersandet (östliche Ostplate, Blick NNW)

lektiert und weist deshalb jetzt nur noch grobkörnige Quarze und - was seine Farbe ganz wesentlich beeinflußt - dunkle Schwermineralkörner als Ausblasungsrückstände auf.

Die Bindung des meist schichtweise angehäuften Sandes erfolgt in ähnlicher Weise und unter Ausbildung unterschiedlich wichtiger Fixierungszonen wie beim Hafer. Das Material wird durch die intensive Sproß- und Rhizombildung und -streckung festgelegt, mit der die Pflanzen auf die Einsandung reagieren. Auf die Vorgänge, die sich dabei abspielen, und ihre Gründe braucht hier nicht eingegangen zu werden; sie sind hinlänglich bekannt (z. B.: ARNOLD u. BENECKE, 1935; SCHRATZ, 1936/37). Nur folgendes ist anzumerken:

Da sich im Lee der meiste Sand niederschlägt, ist hier die Dünenvergrößerung am ausgeprägtesten. Trotzdem stehen auf dieser Seite die Stengel und Halme weniger dicht als im Luv, wo sie außerdem meistens einen kräftigeren Wuchs aufweisen. Das hat seine Ursache in dem Umstand, daß sich die Sprosse und Rhizome windabwärts nicht ganz so gut entwickeln wie auf der dem Wind zugekehrten Seite: Durch die großen, zunächst über längere Zeit hin unbedeckten Sandmengen ergibt sich ein ungünstigeres Mikroklima.

Wie häufig wiederholte Messungen an Weizendünen der mittleren Plate zeigten, steigt an warmen Julitagen die Temperatur auf dem weitgehend schattenfreien Sand der leeseitigen Anhäufungszonen bis auf 50 Grad C an. Da sie selbst in diesem Monat in klaren Nächten oft bis auf 10 Grad C und sogar noch erheblich darunter absinkt, ergeben sich somit Temperaturschwankungen von mehr als 40 Grad C.

Durch diese Erscheinung wird die Weizenentwicklung erheblich behindert. Ohne sie könnten die Pflanzendichte bzw. -höhe und damit das Dünenwachstum also noch größer sein.

Da zwischen Sandniederschlag und -fixierung selbst während der stärksten Vegetationsperiode einige Zeit verstreicht, geht ein Teil besonders des Materials, das im Luv und Lee außerhalb der Pflanzenteile angehäuft ist, dem Prozeß der Bindung am Niederschlagsort verloren. Das geschieht durch Umlagerung und Abstransport bei veränderter Windrichtung. Der erneut windbewegte Sand bleibt aber mengenmäßig erheblich hinter dem zurück, der vom Weizen zur Dünenvergrößerung festgelegt wird, also der Aufhöhung an Ort und Stelle dient. - Die Vorgänge der Umlagerung bzw. des Abtransportes spielen sich in besonders starkem Maße beim Sand ab, der während der Wintermonate angeweht wird. Da er sich jedoch in sehr beträchtlicher Menge einstellt, ergibt sich für die Aufhöhungsgebiete im ganzen eine positive Bilanz.

Daß es überhaupt zu einem derartig umfangreichen winterlichen Materialniederschlag kommt, obwohl das Pflanzenwachstum ruht und der trockene Weizen als schlechterer Sandfänger auftritt als im grünen Zustand, hat folgende Ursachen:

a. Die Winde wehen nun öfter mit hohen Geschwindigkeiten; sie sind also transportintensiver als im Sommer.

b. Die Fluten laufen im Mittel höher auf und setzen deshalb größere Massen unselektierten Materials auf einer breiteren Fläche ab. Diese reicht häufig bis in unmittelbare Nähe der Aufhöhungsgebiete.

Wie im jungen Dünenbildungsgebiet der östlichen Ostplate im Winter 1970/71 und 1971/72 beobachtet werden konnte, häufen sich hinter den trokkenen Stengeln des Weizens wachsende Sandfahnen und Zungenhügel auf (Abb. 134 u. 135). Sie erreichen schließlich eine solche Mächtigkeit, daß von den Pflanzen nur noch sehr wenig oder gar nichts mehr zu sehen ist. Das zeigt, daß der Weizen bzw. die dauerhaften Dünen, die von ihm in der Vegetationsperiode erzeugt worden sind, während dieser Jahreszeit zwar zunächst den Anstoß zur Sandanhäufung geben. Der weitere Materialniederschlag wird aber ausschließlich von den unbefestigten Gebilden verursacht, die sich auf ihrer Grundlage einstellen, rasch aufhöhen und ausweiten. Die so entstehenden Dünen sind daher eigentlich nicht als dauerhafte 3-Faktoren-Dünen zu bezeichnen, sondern als Bildungen, die nur mittelbar auf Pflanzen basieren.

Je stärker das vertikale und horizontale Wachstum ohne direktes Zutun des Weizens fortschreitet, umso mehr nehmen die Anhäufungen tatsächlich den Charakter von Dünen an, die sich - vom stabilen Kern abgesehen - wie die physikalischen Formen verhalten. Ihre losen Sandmassen bleiben nämlich auch weiterhin der Einwirkung des Windes ausgesetzt: Je nach Größe der Richtungsänderung und der neuen Wehgeschwindigkeit können sie bei Winddrehungen abtransportiert oder umgelagert werden. Dabei ergeht es ihnen ähnlich wie dem Material von Hindernisdünen bei drehendem Wind, denn sie geraten auch im Falle des Abtransportes zum großen Teil nicht oder nicht weit aus den Aufhöhungsgebieten hinaus.

Die Sandmassen verursachen vielmehr ein allgemeines Emporwachsen des Standortes, indem sie sich zwischen den festen Körpern der zunächst von ihnen überformten Weizendünen ausbreiten. Es geht besonders rasch vonstatten, wo diese bereits so dicht stehen, daß der lose Sand - in Gestalt von Leeschwänzen, die mit dem Wind mehr oder weniger weit und oft hin und her wandern, und von ebenso bewegten luvseitigen Akkumulationszonen - nicht nur die Zwischenräume auffüllt, sondern auch auf die benachbarten Dünen auftrifft und so ein Zusammenwachsen herbeiführt.

Dieses ist aber zunächst noch nicht endgültig. Erst wenn mit Beginn der Vegatationsperiode der lose Sand durchwurzelt und damit gebunden wird, kommt es zur festen, dauerhaften Vereinigung. Zusammen mit der Vergrößerung der luv- und leeseitigen Teile sowie der Rückenzone der einzelnen Dünen, die nun durch die Fixierung des hier verbliebenen winterlichen Flugsandes gleichzeitig erfolgt, bedeutet sie einen sprunghaften Schritt in der vertikalen und besonders horizontalen Entwicklung der Aufhöhungsgebiete. - Die großen Sandmassen, die sich in der Vegetationspause einstellen, weil für ihre Anlandung und den anschließenden Transport in den Akkumulationsbereich günstige Bedingungen vorliegen, wirken sich also sehr positiv aus. Das ist der Fall, obwohl sie nicht vollständig, nicht sofort und auch keineswegs nur am Ort der ersten Anhäufung festgelegt werden.

3.2.3.3 Die Ausbreitung der Strandweizendünen

(= Die völlige Begrünung der Aufhöhungsgebiete)

3.2.3.3.1 Die Form und Vereinigung der Dünen des optimalen Weizentyps

Im Gegensatz zu den Anhäufungen, die auf dem mittleren bis unteren trokkenen Strand in Verbindung mit Weizenpionieren entstehen, entwickeln sich die frühen Dünen der Aufhöhungsgebiete nun rasch zu Gebilden von ziemlicher Mächtigkeit: Anhäufungen von einem Meter und mehr kommen zustande. Sie werden durch das zunehmende Auftreten von Pflanzen des Optimaltyps bedingt. Diese sind aufgrund ihrer großen Halme und Stengel (Pflanzenhöhe: im Mittel weit über 50 cm) gute Sandfänger, und je mehr Material sie anhäufen, umso länger werden ihre Wurzelstöcke, d. h. umso dauerhaftere Dünen bilden sich.

Die schnelle Entwicklung und Verbreitung der Optimaltyp-Dünen resultieren aus folgendem Umstand:

a. Die Standorte haben durch das beschriebene Emporwachsen während der frühen Begrünungsphase einen günstigen vertikalen Abstand zur MThw-Linie erhalten. Der Einflußumfang des Wasser drückt sich jetzt nur noch in etwa 12 (= Winterhalbjahr) bis 4 (= Sommerhalbjahr) Überflutungen aus. Die abbauenden Kräfte des Wellenschlags und der Strömungen sind daher deutlich unbedeutender als bisher.

   Das gilt auch für die Salzzufuhr von außen her. Die Aussüßung kann voranschreiten. Aber selbst wenn sie den Salzgehalt des Bodenwassers so absinken läßt, daß dieses süßer als Brackwasser wird, halten das optimale Wachstum des Weizens und die entsprechend stark ausgeprägte Dünenbildung an. Wie im Abschnitt über die Nährstoffverhältnisse der frühen Aufhöhungsgebiete dargestellt wurde, versorgen sich die Pflanzen in solchem Falle nämlich in den tiefen Dünenschichten, in denen sich der Einfluß des salzigen Grundwassers noch bemerkbar macht und deshalb eine geeignete Konzentration besteht.

b. Wie bei den Anhäufungsgebilden in Verbindung mit frühem Weizen wird die rasche Entfaltung der Dünen auch von der herangeführten Materialmenge und ihrer Ausrichtung bestimmt: Die Dünen wachsen umso mehr in die Breite und Höhe, je konstanter der Wind aus Richtung der Materialquellen im Bereich des nassen und unteren trockenen Strandes weht. Dabei geht es freilich weniger um die Sandmenge als um die oben erwähnte Bedeutung, die dem Material dieser Herkunft im Zusammenhang mit der Stickstoff- und Phosphorversorgung des Weizens zukommt. Deshalb spielen die Winde aus den südwestlichen Richtungen eine wesentlich geringere Rolle, und zwar selbst dann, wenn sie nach dem Anteil an der morphologischen Gesamtbedeutung aller Winde die auflandigen bis strandparallelen übertreffen würden:

   Je mehr sich die Ostplate zur dünenbestandenen Insel entwickelt und die östlichen Ausläufer des Dünen- und Hellergebietes des alten Inselteils platenwärts ausbreiten, umso mehr verkleinert sich die Fläche im Übergangsgebiet zwischen Plate und Insel, die von den SW-Winden ausgewertet werden kann. Anders als im Bereich des des Dünenbildungsgebietes "Süderdünen" auf dem SW-Haken sind diese Winde daher bei Materialaufnahme zunehmend auf Windrisse im Dünengelände des alten Inselteils angewiesen. Dort können sie je-

doch - sieht man von den NO-Randdünen ab - nur den besagten nährstoffarmen, also für die Pflanzen der Begrünungsphasen beschränkt bis nicht tauglichen Sand losreißen.

Mit der raschen Dünenbildung durch Weizen des Optimaltyps auf der Grundlage positiver Bilanz des Materialhaushaltes sowohl im Sommerhalbjahr als auch während der Vegetationspause ergibt sich - was schon in Ansätzen in der frühen Begrünungsphase sichtbar wurde - auf den Aufhöhungsgebieten eine nachhaltige formale Veränderung im Aussehen der Dünen:

Je älter sie werden, je stärker die kräftigen Pflanzen die Bildungen des kleinwüchsigeren Weizens der vorausgegangenen Phase weiterentwickeln, umso mehr verlieren sie ihre klare Form, wie sie sich in einer breiten luvseitigen Akkumulationszone, einem rundkuppigen Zentrum und einem deutlich ausgezogenen, mehr oder weniger voluminösen Leeschwanz ausdrückt. Alle Dünen und schon bestehenden Dünengruppen vereinigen sich nämlich, und zwar mit wachsender Tendenz. Der Grund: Aus der Verstärkung der Siedlungsdichte in Verbindung mit ständiger Materialzufuhr resultiert, daß dem Wind immer weniger einzelne Hindernisse entgegentreten. Der individuelle Sandniederschlag geht daher zugunsten einer mehr weitflächigen Anhäufung zurück.

Der Zusammenschluß läßt nach und nach einen dichten, weitgehendst unterbrechungsfreien Dünenverband entstehen. Er nimmt die Aufhöhungsgebiete jeweils in ganzer Breite ein. Seine Oberfläche stellt sich bei fortgeschrittener Entwicklung als leicht kuppiges Feld dar (Abb. 136 u. 137). Jede Kuppe gibt den oberen Teil eines Dünenrückens an. Dieser kann unterschiedlich breit und lang sein sowie mehr oder weniger deutlich in die Nachbarkuppen übergehen; er ragt jedoch in der Regel nicht oder höchstens wenig (= max. etwa 3 dcm) über sie hinaus. Auf den sich voll begrünenden Aufhöhungsgebieten findet also kein punktuelles Emporwachsen der einen oder anderen Düne bzw. Dünengruppe zu voluminösen Formen statt, sondern eine nahezu gleichmäßige vertikale Entwicklung aller vorhandenen oder noch entstehenden Anhäufungsgebilde.

Die Entwicklung läuft freilich mit zunehmendem Alter der Gebiete nur langsam ab, weil selbst der optimale Weizen - gemessen am Hafer - ja als nur mäßiger Sandfänger fungiert. Ganz abgesehen von der bremsenden Wirkung auf das Wachstum, die als Folge unzureichender Salzversorgung von einer bestimmten Höhe an schließlich doch eintritt, sind seiner vertikalen Entfaltung daher im Grunde Grenzen gesetzt: Er kann keinen Verband aus sehr hohen Dünen erzeugen. So gewaltige, viele Meter aufragende Gebilde, wie sie im Westteil der Insel auftreten, d. h. wie sie für das "Reifestadium" einer Düneninsel typisch sind, bleiben infolgedessen aus.

3.2.3.3.2 Die Vergrößerung der Aufhöhungsgebiete

Dem auf Dauer beschränkten Höhenwachstum steht eine ausgeprägte horizontale Entwicklung gegenüber:

Die Dünenfelder der Aufhöhungsgebiete wachsen rasch nach den Seiten hin und damit über die bisherigen Ränder hinaus. Dabei wird der alte

Abb. 136

Abb. 137

Abb. 136: Dünenverband des optimalen Strandweizentyps (Aufhöhungsgebiet der mittleren Ostplate, Blick N)

Abb. 137: Durch Ausweitung ihrer Dünenverbände sind einige Aufhöhungsgebiete dauerhaft zusammengewachsen (mittlere Ostplate, Blick NNO)

Abb. 138

Abb. 139

Abb. 138: Ausweitung eines Dünenverbandes über den Rand des Aufhöhunggebietes hinaus; nährstoffgünstiger Treibzeugwall hoher Fluten, der dem Rand folgt, fördert gleichmäßiges Wachstum (mittlere Ostplate, Blick W)

Abb. 139: Rand eines Aufhöhungsgebietes ist auf ganzer Front wattwärts vorgewachsen (westliche Ostplate, Blick SSO)

Spülsaumbereich vorverlegt, und zwar in dem Maße und der Geschwindigkeit, wie das Wachstum erfolgt. Seine Dünen gehen - falls das inzwischen nicht schon ganz oder teilweise geschehen ist - in die Aufhöhungsgebiete auf und tragen dadurch zu ihrer Substanzvergrößerung bei.

Von der Ausweitung sind alle randlichen Abschnitte betroffen. Aufgrund der Ausrichtung jener Winde, die nach Quantität und Qualität des transportierten Sandes dominieren, ist - wie schon bei der frühen Entwicklung - die Ausweitung nach O bis SSO allerdings am größten. Sie erfolgt, indem sich zuerst mehr oder weniger große Dünengruppen und auch Einzelgebilde in die Strand-Watt-Vertiefungen vorschieben. Nach und nach vereinigen sie sich dort und stellen damit auf ganzer Breite die Verbindung zu ihrem jeweiligen Ausgangsgebiet her, so daß dieses immer wieder einen ungefähr glatten Rand erhält (Abb. 139). Wo Randglättung nicht auf solche Weise von selbst zustande kommt, wird sie weitgehend durch Wassereinwirkung erzeugt (vgl. unten: 3.2.3.3.3).

Was den Ausweitungsumfang in Richtung See betrifft, weichen die einzelnen Aufhöhungsgebiete kaum voneinander ab, denn er beträgt überall im Schnitt etwa 30 m (= gesamte meerwärtige Vergrößerung der Aufhöhungsgebiete seit ihrer ersten Begrünung, also seit der frühen Strandweizenphase). Beim Breitenwachstum nach W bzw. O/SSO ergibt sich dagegen kaum Übereinstimmung. Die Strömungsverhältnisse in den Vertiefungen, die selber aufgrund horizontaler und vertikaler Gestaltunterschiede der einzelnen Vertiefungen bestimmt werden, bedingen nämlich deutliche Abweichungen. Das geschieht, indem sie die Weizenansiedlung und die Dünenbildung in Verbindung damit mehr oder weniger erschweren oder aber so gut wie uneingeschränkt ablaufen lassen.

Die Breitenvergrößerung beträgt im Bereich der Aufhöhungsgebiete der westlichen Ostplate zwischen 30 und 70 m, so daß die Gebiete nun etwa 80 bis 240 m breit sind. Auf der mittleren Ostplate ergibt sich eine Ausweitung um 30 bis 40 m auf die neue Breite von ungefähr 70 bis 90 m. Durch diese Veränderung wachsen die einzelnen Aufhöhungsgebiete erheblich aufeinander zu und bereits zum Teil fast oder sogar ganz zusammen. Im mittleren Platenabschnitt sind sie nämlich zwar jeweils nicht so weitflächig, dafür aber sehr zahlreich und - was den Vereinigungsprozeß besonders begünstigt - in der Regel durch nicht so ausgeprägte Vertiefungen zwischen Strand und Watt (mittlere Sohlenlage: 1,70 m NN = 0,43 m MThw) unterbrochen wie im Westteil. Die Gründe hierfür:

a. Der Strandwall der mittleren Plate bietet hoch auflaufendem Wasser keinen bzw. keinen leichten Durchlaß, weil hier - östlich der Anlandungszone - die Strandpriele, die bei Riffannäherung gegen den Strand vorrücken, viel unbedeutender sind und deshalb nur kleine Passagen verursachen.

b. Von S dringt ebenfalls weniger Wasser vor, denn in Höhe der mittleren Plate ist das Inselwatt am stärksten aufgehöht: In diesem Bereich trifft die Wasserscheide auf.

Für den Ostteil der Plate lassen sich keine genauen Angaben zum Umfang der Ausweitung machen: Die Begrünungsvorgänge sind noch nicht bis zur Anlage von geschlossenen Verbänden aus Dünen vor allem des optimalen Weizentyps fortgeschritten.

Im ganzen hat also die dünenbestandene, teilweise bereits ziemlich dauerhaft überflutungssichere Fläche der Ostplate deutlich zugenommen. Abb. gibt ihren ungefähren Umfang an. Dargestellt ist der Zeitpunkt, zu dem die Ansiedlung und Ausbreitung von Strandhafer auf dem Weizenfeld der am weitesten entwickelten Aufhöhungsgebiete unmittelbar bevorstehen bzw. gerade beginnen.

3.2.3.3.3 Die Bedeutung der Weizendünen-Verbände für die Düneninselentwicklung

Die beschriebene horizontale Vergrößerung der Weizendünen bis hin zur Bildung dichter Dünenfelder mit ausgeprägten Ausweitungstendenzen ist - auch wenn diese nur allmählich emporwachsen - für die Sicherung der Aufhöhungsgebiete auf lange Sicht wichtiger als starkes punktuelles Wachstum des einen oder anderen Gebildes bzw. Gebietsabschnittes. Dadurch können sich nämlich einige negativ wirksame Vorgänge nicht oder nur in begrenztem Umfang einstellen:

a. Es bilden sich keine ausgeprägten Windschneisen, in denen Sand viel eher fortgeblasen als angehäuft wird, die also mehr dem Abals Aufbau dienen, denn der Luftstrom findet keine oder nur unbedeutende Ansatzpunkte zur Schneisenbildung. Anders bei den isolierter stehenden, im ganzen viel höheren Haferdünen der vergleichbaren Entwicklungsstufe im anschließenden Düneninselstadium: Sie veranlassen durch Anlage und Form, daß der Luftstrom in die teilweise erheblichen Vertiefungen zwischen ihnen eindringt. Dort wird er komprimiert und beschleunigt, so daß er umfangreiche Ausräumungsarbeit sowohl nach den Seiten hin als auch in die Tiefe hinein leistet.

b. Erst das fast gleichmäßige Wachstum auf ganzer Breite verhindert weitgehend, daß die Wassermassen sehr hoher winterlicher Fluten tief und in weitverzweigten Bahnen in die Aufhöhungsgebiete vordringen und an ihren Dünen Abbrüche herbeiführen sowie unbeschränkt breite Ausräumungsrinnen oder kolkartige Vertiefungen anlegen.

Daß es trotz dichten Dünenverbandes überhaupt noch zu Wassereinbrüchen kommt, hat folgende Ursache: Selbst bei fortgeschrittener Aufhöhung, wie sie in der Mitte und besonders gegen Ende der stärksten Begrünungsphase vorliegt, sind die Aufhöhungsgebiete vorerst nicht überall absolut überflutungssicher. Dabei spielt der Umstand eine Rolle, daß die Stabilität vieler Dünen bzw. Dünengruppen häufig noch nicht groß genug ist, damit diese der abbauenden Wassereinwirkung widerstehen können. Das gilt vor allem für jene Sandmassen, die im Herbst und Winter angehäuft werden und die - da die Festlegung erst wenig fortgeschritten ist oder bis zum Zeitpunkt der Überflutung noch gar nicht begonnen hat - keineswegs endgültig zu dauerhaften Bestandteilen der Dünen geworden sind.

Vom Abbau und Materialentzug werden weniger die Dünen im Zentrum der Aufhöhungsgebiete betroffen; falls Wasser überhaupt so weit vordringt,

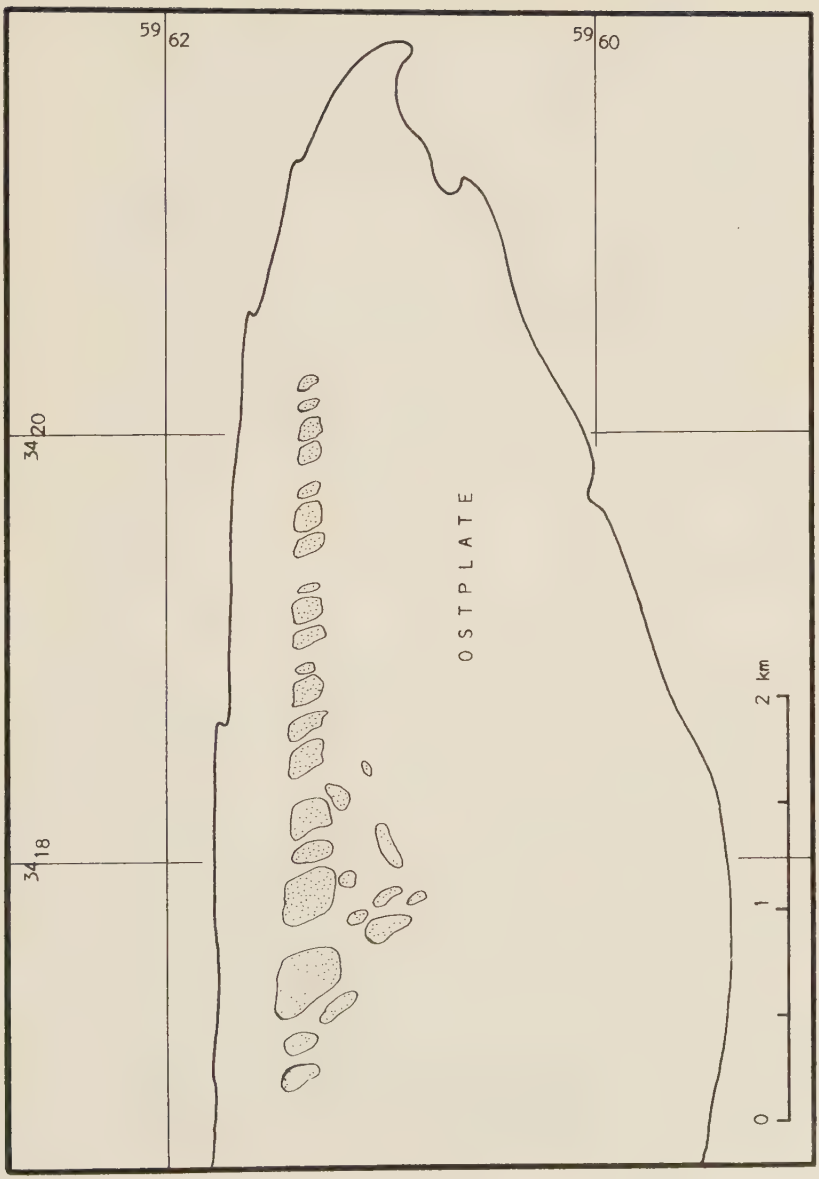


Abb. 140: Düneninselstadium II. Die ungefähre Lage und Form der Aufhöhungsgebiete nach der Strandwelzendünen-Ausbreitung

entstehen dort in der Regel nur kleine Auskolkungen und leicht rinnenartige Ausräumungen. Am meisten geraten die randlichen Dünen in Abbruch. Von ihnen wiederum unterliegen jene der stärksten Bearbeitung, die bei Erweiterung der Aufhöhungsgebiete in die benachbarten Vertiefungen zwischen Strand und Watt überdurchschnittlich weit hineinwachsen. Aber auch in diesem Falle treten noch Unterschiede auf: Die Abbrüche sind grundsätzlich an jenen Dünen am größten, die von den nach W hin exponierten Seiten der Aufhöhungsgebiete ausgehen, die also in die jeweils östlichen Abschnitte der Vertiefungen vordringen.

Die Zerstörungsgefahr ist hier so erheblich, weil

a. der Wirkungsgrad des Wassers von vornherein größer ist als an den östlichen Rändern: Die Auflaufrichtung hat vorherrschend mehr südöstliche als südliche Tendenz, zumal vom Winde, der bei den hohen Wasserständen mit vollständiger Vertiefungsüberflutung in der Regel aus westlichen bis nordwestlichen Richtungen kommt, ein anfachender Einfluß ausgeht.

b. die Ausweitungsvorgänge - infolge der meistens windaufwärtigen Lage - weniger gleichmäßig und weitflächig ablaufen als auf der nach O weisenden Seite, so daß die Wassermassen mehr Angriffspunkte vorfinden.

Und eine noch nähere Bestimmung der am meisten beeinträchtigten Ausweitungszonen ist möglich: Die Vertiefungen sind im westlichen Platenbereich besonders ausgeprägt (= Sohlen ragen mit der tiefsten Stelle bis unter 1,50 m NN oder 0,23 m MThw hinab), weil dort - wie oben begründet wurde - der Strandwall stellenweise eine geringere Höhe aufweist als weiter östlich. Daher dringt das Wasser häufiger und schneller vor und wirkt entsprechend auf die Dünen und Dünengruppen ein, die am weitesten westwärts in die Vertiefungen vorwachsen.

Sie erhalten an ihren exponiertesten Seiten einen Abrasionshang (Abb. 141 u. 142). Er schneidet die Gebilde oft bis ins Wurzelwerk des Weizens an. Durch diesen Vorgang wird auf die Randglättung der Aufhöhungsgebiete eingewirkt: Das abradierende Wasser ist bestrebt, einen unterbrechungsfreien Randverlauf parallel zu seiner Fließrichtung, d. h. der Ausrichtung der Vertiefungen gemäß (= von NW/NNW nach SO/SSO), herbeizuführen.

Da die jeweils am stärksten vordringenden Weizendünen also vom Wasser teilweise erheblich bearbeitet werden, sind sie eigentlich nicht als 3-Faktoren-Dünen (= Sand, Wind, Pflanzen) anzusprechen, sondern eher als Anhäufungsformen, die zeitweilig direkt von 4 Faktoren abhängen.

In den wattseitigen Abschnitten der Aufhöhungsgebiete, wo die Standortneigung am geringsten ist und die Wassereinwirkung grundsätzlich am schwächsten bleibt, kommt es zu folgendem Vorgang: Der größte Teil des Materials, das den randlichen Dünen bei Überflutung entzogen wird, schwemmt entweder in die Aufhöhungsgebiete hinein oder breitet sich in ihrem Vorfeld aus. Beide Male wirkt sich der Abbau also nicht wirklich negativ aus.

Daß aber auch die Ausräumungserscheinungen im Zentrum der Aufhöhungsgebiete und sogar die Zerstörungen an den exponiertesten Dünen keine

Abb. 141

Abb. 142

Abb. 141: Strandweizendüne außerhalb des Dünenverbandes, vom Wasser überformt (mittlere Ostplate, Blick W)

Abb. 142: Dünen mit wintertrockenem Weizen, von hoch auflaufenden Frühjahrsfluten abradiert (westliche Plate, Blick NNO)

schwerwiegenden Folgen im Sinne einer langfristigen Verzögerung oder gar einer völligen Unterbrechung der Begrünungs- und Aufhöhungsvorgänge haben, ist nicht nur dadurch bedingt, daß - wegen der im ganzen verbesserten Höhenlage - weit überdurchschnittliche Wasserstände jetzt viel seltener auftreten als während des Düneninselstadiums I und vorher. Die ständige Materialzufuhr und vor allem der Strandweizen selber spielen in diesem Zusammenhang ebenfalls eine wichtige Rolle:

Die Auskolkungen oder anders geformten Einbruchsstellen werden nämlich schnell wieder aufgehöht und vor späterer Wassereinwirkung geschützt, die weitere, verstärkte Zerstörungen veranlassen könnte. Das geschieht durch

a. schwerpunktmäßige Aufhöhung: Je nach Dünendichte und Materialversorgung schieben sich rasch neue Einzelbildungen bzw. Dünengruppen vor.

b. allmähliches, gleichmäßiges Emporwachsen auf der Grundlage weitflächig angewehten Sandes.

In beiden Fällen entwickeln sich - was ihre Breite und Tiefe betrifft - unterschiedlich geformte Auffüllungszonen. Sie sind freilich bei fortgeschrittener Übersandung und neuer Begrünung nur selten als solche Stellen zu erkennen, an denen Rinnen oder andere Ausräumungsformen bestanden haben.

Auch an den randlichen Dünen, die am stärksten der Bearbeitung unterlagen, werden die Schäden beseitigt. Dieser Vorgang beginnt bei geeigneten Windverhältnissen sofort nach Rückgang des Wassers: Die Abrasionshänge fungieren als Wanderbahnen, auf denen - bei direkt oder ungefähr rechtwinklig auftreffendem Wind - Flugsand aufwärts abgelenkt wird. Er schlägt sich zwischen den zunächst noch trockenen Stengeln und Halmen auf den Rücken oder im Lee davon nieder und vergrößert damit das Dünenvolumen. Das ist auch dann der Fall, wenn unter Einwirkung sehr starker Winde zwischenzeitlich Korrasionsleisten ausgeblasen worden sind. - Trifft der Wind spitzwinklig auf, werden die Hänge durch Materialniederschlag abgeflacht, so daß sie ihre alte Form weitgehend zurückerhalten.

Zusammenfassend ist hinsichtlich der Begrünungs- und Aufhöhungsvorgänge in Verbindung mit Strandweizen folgendes festzustellen:

Die Weizendünen bewirken im Düneninselstadium II, das durch ihr sehr umfangreiches Auftreten gekennzeichnet wird, ein beinahe gleichmäßig zu nennendes allmähliches Emporwachsen der Aufhöhungsgebiete. Sie stellen sich nämlich nicht als isolierte Gebilde mit individueller Entwicklung ein, die eine mehr oder weniger punktuelle Aufhöhung veranlassen. Vielmehr treten sie in der fortgeschrittenen Begrünungsphase im ganzen als flachkuppige, gleichsam welligе Dünenfelder aus dicht bzw. übergangslos aneinandergereihten, mehr breiten als hohen Anhäufungen auf. Daneben kommt es zu einem fast allseitigen horizontalen Wachstum über die Ränder der Aufhöhungegebiete hinaus. Im mittleren Platengebiet läßt dieses ihren Zusammenschluß beginnen bzw. sogar schon stattfinden.

Zum welligen Aussehen trägt der Umstand bei, daß die Standorte auf Dauer keine nennenswerten Einschnitte aufweisen. Denn: Die Ausräumungsformen, die - da der dichte Dünenverband Wassereinbrüche weitgehend verhindern kann - nur gelegentlich zustande kommen, werden durch Übersandung und neue Dünenbildung rasch beseitigt. Mit fortschreitender Entwicklung der Aufhöhungsgebiete treten sie in der Regel sowieso nur vorwiegend in den randlichen Teilen auf, und zwar besonders in denen auf der Seeseite und in den jeweils benachbarten Vertiefungen mit Strand-Watt-Verlauf.

Der geschilderte Oberflächenzustand hat zur Folge, daß die Dünen des anschließenden Düneninselstadiums, die sich in Verbindung mit Strandhafer aus den Weizendünen entwickeln bzw. neu einstellen, einen günstig gelegenen, weitgehend überflutungssicheren Standort vorfinden. Seinem Vorhandensein ist es zuzuschreiben, daß es nun keine Rolle mehr spielt, ob das weitere Emporwachsen der Aufhöhungsgebiete punktuell vonstatten geht oder ziemlich gleichmäßig erfolgt, ob also zwischen den Dünen ausgeprägte Vertiefungen bestehen bleiben oder nicht.

3.2.4 Das Düneninselstadium III

(= Die 2. Vollformen der dauerhaften 3-Faktoren-Dünen: die Strandhaferdünen)

Dieses Stadium wird dadurch gekennzeichnet, daß Strandhafer (= Ammophila arenaria) mit der für ihn typischen Dünenbildung auftritt, sich ausbreitet und den Strandweizen zunehmend verdrängt.

3.2.4.1 Die Ansiedlung des Hafers und die Voraussetzungen dafür

Der Hafer stellt sich auf der Ostplate anfänglich sporadisch ein, und zwar zunächst auf und zwischen den Weizendünen der westlichen Aufhöhungsgebiete:

Da dieser Platenbereich

a. durch die Bildungsvorgänge der "Strandinsel Ostplate" (= Anlage und Entwicklung des mittleren bis östlichen Teils der frühen Sockelplate ungefähr hier!) und

b. aufgrund seiner sehr günstigen Lage zur Anlandungszone des Riffbogen-Sandes

von Anfang an in seinen vertikalen Entfaltungsmöglichkeiten bevorzugt gewesen ist, haben sich die Weizendünen am stärksten entwickelt. Ihr Verband ragt beim ersten Auftreten des Hafers im Durchschnitt deutlich

über 2,70 m NN (= 1,43 m MThw) empor.

Diese Höhenlage und ihre weitere positive Veränderung bedingen, daß der direkte Kontakt mit Seewasser immer seltener wird. Der Aussüßungsprozeß schreitet daher so gut wie ohne Unterbrechung voran. Von ihm sind die oberen Schichten des Grundwassers und vor allem das Bodenwasser betroffen. Das bedeutet für die Pflanzen:

a. Der Weizen findet innerhalb seiner Dünen nirgendwo die geeignete Salzlösung für ein starkes Wachstum vor. Die Pflanzen des Optimaltyps verlieren daher allmählich an Bedeutung und machen zunehmend denen des Degenerationstyps Platz. Diese weisen Kümmerwuchs auf und sind nur 2 bis 3 dcm groß.

   Sie ähneln daher den Pflanzen des Initialtyps, die auf Standorten mit hoher Salzkonzentration in allen durchwurzelten Schichten des Anhäufungsmaterials und Bodens auftreten (= Weizenpioniere auf dem offenen Strand). Da jedoch - im Gegensatz zu jenen exponierten Standorten - die stark abbauende Einwirkung des Wassers hier weitgehend fehlt, schreitet die Dünenbildung trotzdem immer noch etwas schneller und konstanter voran (Abb. 143). Sie kommt allerdings keineswegs der in Verbindung mit optimalem Weizen und schon gar nicht der auf der Grundlage von Hafer gleich.

b. Für den Hafer ist die Dünenaussüßung nämlich eine sehr wichtige Voraussetzung zur raschen und dauerhaften Ausbreitung, denn ihm fehlt im Wurzelraum die Salztoleranz der vorausgehenden Pflanzen: Während er im Kulturgefäß noch einen Salzgehalt von ungefähr 2 % verträgt und damit dem Weizen im natürlichen Verbreitungsgebiet entspricht, geht er in der Natur schon bei etwa 1 % zugrunde (BENECKE, 1930/31).

   Wenn er erst Fuß gefaßt hat, höht er seine Dünen sehr schnell auf und trägt damit selber zur zunehmenden Verbesserung seiner Wachstumsmöglichkeiten bei, denn je mehr Sand er anhäuft, umso größer wird das Süßwasserkissen im Standort. Das bedeutet allerdings auch, daß er den Weizen sogar des Degenerationstyps immer stärker unterdrückt und schließlich ganz verdrägt. Da dieser seine Aufgabe als Wegbereiter des Hafers aber längst erfüllt hat, bleibt der Vorgang ohne Folgen für die weitere Entwicklung der Aufhöhungsgebiete.

Vom aussüßenden Standort abgesehen, bestehen für das schnelle Wachstum der Haferdünen - wie schon bei der Weizenansiedlung und -entfaltung - optimale Bedingungen: Da ja die ergiebigen Materialquellen besonders während der Vegetationsperiode zwischen dem Herkunftssektor der transportintensivsten Winde und den Haferstandorten liegen, findet auf diesen ständig starke bis sehr starke Übersandung statt. Da es sich bei den Quellen zum größten Teil um die seenahen Strandflächen handelt, sorgt das zugeführte Material gleichzeitig für ein reichliches Nährstoffangebot. Daraus resultiert eine Entwicklungsbegünstigung der Pflanzen, und das wirkt sich wieder positiv auf ihre Fähigkeit zum Fang und zur Bindung von Sand aus.

Die Übersandung beträgt pro Jahr etwa 60 bis 80 cm. Dieser Wert drückt

die Differenz zwischen Zufuhr und Abtransport aus. Das besagt, daß der tatsächliche Niederschlag weit über 80 cm Sandhöhe liegt. Er kommt weniger in Form von gleichmäßiger, allmählicher Überwehung zustande, als vielmehr in kurzfristiger, sehr erheblicher Zufuhr, und zwar vornehmlich in Perioden mit W- oder NW-Sturm. - Ohne den teilweisen Entzug würde Material solchen Umfangs keineswegs positiv auf die Dünenbildung und ihre Folgen einwirken. Der Hafer verträgt nämlich selbst bei sehr ausgeprägter Blattlänge (= etwa 80 cm) nur eine maximale Verschüttung von 90 cm pro Jahr (WIEMANN, 1967); totale Begrabung der Pflanze von Dauer unterbindet ihre Fähigkeit, die Sandschichten bis zur Oberfläche zu durchwurzeln und zu fixieren.

Die ständige umfangreiche Versorgung des Hafers mit frischem Strandsand zeigt sich auch in folgendem: Das Dünenmaterial weist hohe pH-Werte auf (Mittel aus 5 Proben, 10 bis 15 cm Tiefe: 8,2). Von den südlichen Süderdünen und den jungen Haferbeständen vor dem NO-Rand des alten Dünengeländes abgesehen, ist die Sandreaktion nirgendwo im Haferbereich ähnlich alkalisch. Das gilt in ungefähr gleichem Maße auch für den CaO-Gehalt; er erreicht in den Haferdünen der Ostplate (Mittel aus 5 Proben, 10 bis 15 cm Tiefe: 0,14 %) und den genannten Gebieten sein Maximum.

3.2.4.2 Der Hafer als Sandfänger

Während die Vorgänge der dauerhaften Festlegung des angewehten Materials, wie sie z. B. in Form der Sproß- und Rhizombildung und -streckung des Strandweizens bei Übersandung erfolgen, eingehend bearbeitet worden und daher hinlänglich bekannt sind, hat der Vorgang des eigentlichen Sandfangs durch die Stengel und Halme der Dünengräser wenig Beachtung gefunden. Der Sandniederschlag durch den Strandhafer als bedeutendstem Materialfänger (= durch seinen dichteren Horst entwickelt er größere sandhaltende Kraft als Weizen!) und die sich dabei unter Einwirkung von Winden unterschiedlicher Stärke und Richtung ergebenden Anhäufungsbesonderheiten sind deshalb nun zu untersuchen.

3.2.4.2.1 Die Vorgänge der Materialanhäufung (Abb. 144)

Die luvseitige Anhäufungszone und der Niederschlag im Horst:

Da die Halme und Stengel eines Haferhorstes grundsätzlich sehr dicht stehen, stellt dieser insgesamt ein Hindernis dar. Als solches tritt er besonders unter Einwirkung von Winden mittlerer und hoher Geschwindigkeiten auf. Dann ist er nämlich zumindest auf der Luvseite verhältnismäßig stark geschlossen, weil sich alle Pflanzenteile windabwärts umbiegen und - aus dem Bestreben heraus, der Strömung nur wenig Widerstand zu bieten, - teilweise eng aneinanderliegen. Deshalb verhält sich der materialhaltige Wind beim Auftreffen hier zum Teil so wie im Falle der beschriebenen Treibzeuggegenstände, die im Bereich der Spülsäume

Abb. 143

Abb. 144

Abb. 143: Aussüßende Weizendünen; Weizen des Degenerationstyps und Strandhaferhorste (westliche Ostplate, Blick NNO)

Abb. 144: Strandhaferhorste verursachen eine ausgeprägte leeseitige Akkumulationszone, Wind und Material aus NW (Standort: vor einer der jungen NO-Randdünen)

oder sonst irgendwo auf dem trockenen Strand angelandet sind und vergängliche 3-Faktoren-Dünen entstehen lassen:

Der Luftstrom, der direkt auf den Horst auftrifft und keine seitliche Ablenkung erfährt, wird reflektiert. Zwischen der auftreffenden und zurückprallenden Luft bildet sich eine Interferenzzone aus, in der die entgegengesetzten Bewegungsgrößen die Luftbewegung und damit das Transportvermögen fast ganz ausschalten. Es kommt infolgedessen zum Sandniederschlag im unmittelbaren Vorfeld der Luvseite.

Die luvseitige Anhäufung weicht formal allerdings deutlich von der vor einem toten Gegenstand ab, denn sie ist nicht als isoliertes, mehr oder weniger sichelähnliches Dünchen mit einem ungefähr gleichmäßig steilen Luvhang und einem noch steileren Leehang ausgebildet. Sie weist vielmehr auf der Luvseite selbst bei Windrichtungskonstanz einen leicht unregelmäßig gestalteten Hang auf und geht mit diesem - was den wesentlichsten Unterschied darstellt - direkt in den Horst über. Es besteht also zwischen dem Hindernis, durch das der Materialniederschlag verursacht wird, und dem Rücken der Anhäufung eine unterbrechungsfreie, leehanglose Verbindung.

Die Gründe:

a. Der Luftstrom kann einen starren Gegenstand nicht zeitweilig oder dauernd windabwärts umbiegen. Daher beschreiben die Körner - konstante Richtung und Stärke des Stromes vorausgesetzt - nach Aufprall und Reflektion immer die gleiche Bahn, die im flachen, fast bodenparallelen Bogen windaufwärts führt, und schlagen sich immer an einer bestimmten Stelle mit deutlichem Abstand vom Gegenstand nieder. Anders beim Hafer: Durch das Umbiegen bildet die Luvseite des Horstes mit dem auftreffenden Luftstrom einen Winkel von über 90 Grad. Daher erfolgt der Rückprall der Körner nicht flachbahnig und direkt windaufwärts, sondern unter Beschreibung eines steil ansteigenden und abfallenden Flugweges. Das hat zur Folge, daß die Landung nicht weit außerhalb des Horstes stattfindet, sondern unmittelbar vor und an dessen Luvseite.

   Da der Horst aber nicht ständig eine unverändert gleiche Luvneigung und -form beibehalten kann, weil der Luftstrom - selbst bei konstanter Richtung und Stärke - keineswegs ganz gleichmäßig fließt und daher die Halme leicht nach den Seiten bzw. windaufwärts/windabwärts hin und her schwanken, prallen die einzelnen Körner in unterschiedlich großem Winkel auf und zurück. Entsprechend ungleichmäßig steile Flugbahnen ergeben sich. Daraus resultiert, daß die Landungszone weniger festliegt und ihre vertikale und horizontale Ausweitung bei anhaltender Materialzufuhr unregelmäßiger abläuft, als das bei den Anhäufungsvorgängen in Verbindung mit starren Gegenständen geschieht.

b. Trotz aller kleinen Abweichungen in der Steilheit des Bahnverlaufs nach dem Rückprall vom Pflanzenluv bleibt die stark aufwärts gerichtete Komponente aber im ganzen erhalten. Diese veranlaßt eine zweite Reflektion des Luftstroms, durch die Ort und Umfang des Materialniederschlags erheblich mitbestimmt werden: Sie erfolgt an der höheren, schneller fließenden Luftschicht und läßt eine weitere Interferenzzone entstehen. In ihr schwächen die ent-

gegengesetzten Bewegungsgrößen die Luftbewegung wieder bis zu einem Minimum ab, so daß Sand abgesetzt wird. - Dabei handelt es sich nicht nur um Material aus der bodennahen Luftschicht, sondern auch um solches aus der Schicht darüber. Gerade dieses wirkt auf die Horstnähe der Niederschlagszone ein; da seine Körner nämlich mit einem starken Impuls ausgestattet sind, kommen sie keinesfalls schon deutlich vor dem Hindernis zur Anhäufung.

c. Für den direkten Übergang zwischen dem luvseitig abgesetzten Sand und dem innerhalb des Horstes ist auch der Umstand mitverantwortlich, daß dessen windaufwärtige Seite niemals wirklich ganz geschlossen wird. Das ist besonders dann der Fall, wenn das Umbiegen der Pflanzen unter Einwirkung von Winden nur mittlerer Stärken geschieht oder wenn der Hafer kurzfristig sehr stark eingesandet wird, so daß lediglich die obersten Halm- und Stengelabschnitte als Sandfänger fungieren können. Gemessen an der Gesamthöhe des Horstes ragen diese Abschnitte nur wenig auf; außerdem stehen sie weiter auseinander als die nun bedeckten Abschnitte in Bodennähe.

Teile des Luftstroms prallen daher nicht schon auf die exponiertesten luvseitigen Pflanzenteile auf und von da zurück, sondern dringen unbehindert zwischen ihnen hindurch in die Horste vor. Dort kommt es allerdings schnell zum reichlichen Materialentzug, denn der dichte Halm- und Stengelverband macht ein gradliniges Passieren größtenteils unmöglich. Er läßt vielmehr unterschiedlich schnell fließende Strömungsabschnitte auf kleinstem Raum entstehen und sorgt in Verbindung damit für Verwirbelungen. Gleichzeitig ergibt sich eine vielfältige Abfolge von teilweise mehrfachen Auf- und Rückprallvorgängen mit dem Ergebnis zwar unübersichtlicher, aber erheblicher Sandanhäufung.

Die leeseitige Anhäufungszone:

Wie bei den vergänglichen und den Frühformen bzw. ersten Vollformen der dauerhaften 3-Faktoren-Dünen findet bei den Haferdünen die stärkste Sandanhäufung im Lee statt:

Für die Form und Größe dieser Anhäufung ist der besagte Umstand wesentlich, daß jeder Haferhorst im ganzen dem materialhaltigen Luftstrom als Hindernis entgegensteht: Er tritt zwar als beweglicher und in der Regel auch als durchlässiger in Erscheinung als ein starrer Gegenstand, er verursacht jedoch eine vergleichbare Veränderung des Fließvorganges der Luft. Diese wird umso größer, je mächtiger und halm- und stengelreicher die Pflanzen sind und je stärker ihr windabwärtiges Umbiegen erfolgt, je undurchlässiger also die Luvseite wird.

Von den Stromabschnitte abgesehen, die direkt auf die luvseitigen Pflanzenteile prallen oder durch sie hindurch in den Horst vordringen, zerlegt dieser den auftreffenden Luftstrom in drei Arme. Zwei passieren das Hindernis seitlich; einer wird leicht nach oben abgelenkt und führt über es hinweg. Dadurch stellt sich hinter ihm ein windabwärts weit ausgezogener Raum ein, in dem die Luftbewegung auf ein Minimum absinkt. An

den Berührungsstellen zwischen dieser strömungsarmen Zone und den ungehindert fließenden seitlichen Strömungsarmen bilden sich, parallel zur Windrichtung, vertikale Trennungsflächen aus. An ihnen rollen sich die äußeren Strömungen auf; infolgedessen erlahmen sofort ihre Transportkräfte, so daß der mitgeführte Sand abgelagert wird.

Das geschieht in Form eines zugenförmigen Gebildes. Es ist umso länger und ausgeprägter, je stärker der Wind weht. Bei hohen Geschwindigkeiten werden nämlich die Trennungsflächen zwischen den sehr unterschiedlich schnell bewegten Luftmassen und damit das Gebiet des Aufrollens weiter windabwärts ausgedehnt. Außerdem biegen sich die Pflanzen stärker um und fungieren deshalb als wirksameres, undurchlässigeres Hindernis.

Innerhalb der leeseitigen Anhäufungszone ist der Materialniederschlag unmittelbar hinter dem Horst am größten, denn:

a. Hier wird jener Luftstromarm besonders wirksam, der in einigem Abstand vor dem Hindernis leicht nach oben abgelenkt wurde. Er beeinflußt das Transportvermögen der Strömungsschicht über sich wesentlich stärker, als es die seitlichen Arme mit den sich ihnen anschließenden Schichten tun. Die obere Schicht wird beim Einrollen der abgelenkten Schicht herabgerissen und erfährt ebenfalls eine teilweise Verwirbelung. In deren Folge schlägt sich Material nieder, das dem horizontalen und vor allem dem vertikalen Wachstum der Anhäufungszone in Horstnähe dient.

b. Teil der großen Sandmassen, die sich im Stengel- und Halmbereich des Horstes einstellen, fließen leewärts aus und tragen zur Ausweitung der horstnächsten Abschnitte der Anhäufungszone bei.

3.2.4.2.2 Die Korngrößen-Verhältnisse in den Anhäufungszonen und ihre Veränderungen bei anschwellendem Wind

Die Aussagen hierzu basieren auf der Siebanalyse von Sand, der aus dem Zentrum+) sowie von der leeseitigen Anhäufungszone von Haferdünen des Dünengeländes im Gebiet der westlichen Ostplate stammt. Dort ist er von nordwestlichen, also auflandigen Winden mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 11,5 m/sek (= im folgenden als Geschwindigkeit II bezeichnet) niedergeschlagen worden. - Zur Kontrolle und zur weiteren Aufhellung der Frage nach der korngrößenmäßigen Beschaffenheit der einzelnen Anhäufungszonen von Haferdünen wurde von den gleichen Stellen Material entnommen, das unter Einwirkung von Winden zwar ungefähr der gleichen

+) Auf die Darstellung des Materials aus der luvseitigen Anhäufungszone wurde verzichtet, denn: Wie Kontrollproben ergaben, setzt sich diese Zone korngrößenmäßig im großen und ganzen ebenso zusammen wie jene zwischen den Haferhalmen und -stengeln, in die sie ohne Unterbrechung übergeht und aus der bei Anhäufungsübersteilung Sand auf sie herabrieselt.

Herkunft, jedoch viel geringerer Geschwindigkeit (etwa 7,5 m/sek = Geschwindigkeit I) Niederschlag gefunden hatte.+)

Die Zusammensetzung des Leesandes:

Aus Tab. 24 geht hervor, daß im Material der leeseitigen Anhäufungszone, das bei Geschwindigkeit I abgesetzt wird, der grobe Feinsand (0,1 - 0,2 mm) mit einem Anteil von 52,48 % dominiert. Der feine Mittelsand (0,2 - 0,3 mm) schließt sich mit 46,85 % an. Alle übrigen fein- und grobkörnigeren Fraktionen (Grobschluff = kleiner 0,06 mm; feiner Feinsand = 0,06 - 0,1 mm; grober Mittelsand = 0,3 - 0,6 mm; Grobsand = größer 0,6 mm) machen sogar zusammen nicht einmal ein Prozent aus; am wichtigsten ist unter ihnen der grobe Mittelsand mit 0,37 %.

Bei Geschwindigkeit II nimmt der Anteil des feinen Mittelsandes so zu, daß er das Anteilsmaximum erreicht (Umfang der Anteilsveränderungen gegenüber Geschwindigkeit I: vgl. Tab. 25, Spalte A). Er ist mit 50,13 % allerdings nicht ganz so bedeutsam wie der grobe Feinsand bei Geschwindigkeit I. Dieser beträgt jetzt 49,23 %; er verringert seinen Anteil also fast im gleichen Maße, wie die nun vorherrschende Fraktion ihren vergrößert. Das zeigt, daß hinsichtlich des Geamtanteils der übrigen Fraktionen keine wesentliche Veränderung stattfindet. Es bleibt weiterhin unter einem Prozent. Die Tendenz zur Zunahme der Korndurchmesser bei Anschwellen des Windes, wie sie feiner Mittelsand und grober Feinsand deutlich zum Ausdruck bringen, wird im einzelnen jedoch auch hier sichtbar.

Die Zusammensetzung des Horstsandes:

Die Anhäufungszone zwischen den Halmen und Stengeln wird nach Windgeschwindigkeit I durch das klare Vorherrschen des feinen Mittelsandes bestimmt (56,46 %). Mit einem deutlich geringeren Anteil von 42,87 % folgt der grobe Mittelsand. Wie im Falle des leeseitigen Niederschlagsmaterials vereinigen alle übrigen fein- und grobkörnigeren Fraktionen zusammen nur einen sehr kleinen Anteil (0,68 %) auf sich.

+)

Die wünschenswerte Beantwortung der Frage nach der genauen Größe der Sandmengen, die sich in einem bestimmten Zeitraum im Bereich der verschiedenen Anhäufungszonen unter Einwirkung unterschiedlich transportstarker Winde niederschlägt, kann nicht erfolgen. Die Struktur der Haferhorste macht es unmöglich, Sandfangkästen aufzustellen oder zumindest Fangpappe mit selbstklebender Oberfläche auszubreiten. - Abgesehen von der Platzfrage könnten die Strömungsverhältnisse im Bereich der Pflanzen durch derartige starre Gegenstände völlig verändert werden. Die Horste verlören ihre Funktion als bewegliche, teilweise durchlässige Hindernisse, und die Vorgänge des Sandfangs, die jetzt ablaufen und bestimmte Anhäufungszonen mit typischer Korngrößenzusammensetzung erzeugen, würden weitgehend unterbunden.

	Anhäufungszone im Horst		leeseitige Anhäufungszone	
	Geschw. (m/sek)		Geschw. (m/sek)	
	7,5	11,5	7,5	11,5
größer 0,6	0,012	0,022	0,007	0,009
0,3 - 0,6	0,421	0,667	0,368	0,385
0,2 - 0,3	56,455	58,737	46,850	50,128
0,1 - 0,2	42,870	40,349	52,475	49,225
0,06 - 0,1	0,219	0,215	0,275	0,229
kleiner 0,06 mm	0,023	0,010	0,025	0,024

Tab. 24: Korngrößenzusammensetzung (in Gewicht-%) von Sand, der in Strandhaferhorsten bzw. ihrer leeseitigen Anhäufungszone unter Einwirkung von Winden unterschiedlicher Stärke (7,5 bzw. 11,5 m/sek) niedergeschlagen wird. - Mittel aus jeweils 6 Proben

	A		B	
	Horst	Lee	7,5 m/sek	11,5 m/sek
größer 0,6	83,3	28,8	71,4	144,4
0,3 - 0,6	58,4	4,6	14,4	73,2
0,2 - 0,3	4,0	7,0	20,5	17,2
0,1 - 0,2	-5,9	-6,6	-18,3	-22,0
0,06 - 0,1	-18,3	-16,7	-20,4	-6,1
kleiner 0,06 mm	-130,0	-4,0	-8,7	-58,3

Tab. 25: A = Anteilsveränderung im Horst und Lee bei Anschwellen des Windes von 7,5 m/sek auf 11,5 m/sek (in %)

B = Horstanteil nimmt bei den unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten gegenüber dem des Lee zu oder ab (in %)

Vergleicht man die Zusammensetzung mit der nach Einwirkung von Geschwindigkeit II, so ergeben sich ähnliche Veränderungen wie im Bereich der leeseitigen Anhäufungszone (Umfang der Anteilsveränderungen gegenüber Geschwindigkeit I: vgl. Tab. 25, Sp. A): Während der feine Mittelsand seinen Anteil vergrößert (58,74 %) und damit ein noch klareres Maximum erlangt, kommt den Körnern des groben Feinsandes jetzt nur noch ein 40,35 %-Anteil zu. Einen Rückgang erfahren auch der feine Feinsand und der Grobschluff. Die grobkörnigsten Fraktionen erweitern dagegen ihren Anteil.

Es ist also bei Geschwindigkeitszunahme des Transportmittels, d. h. bei Steigerung seines Verfrachtungsvermögens, eine grundsätzliche Entwicklung zur Vergröberung des Sandes festzustellen.

Vergleich der Horst- und Leeanteile der einzelnen Fraktionen:

Tab. 24 und 25 machen nicht nur deutlich, daß zwischen den Stengeln und Halmen eines Haferhorstes großkörnigerer Sand angehäuft wird als in seinem Lee. Sie zeigen auch, daß sich der Anteil dieses Materials mit zunehmender Windgeschwindigkeit im Horst häufig stärker vergrößert als windabwärts und daß diese Vergrößerung teilweise umso mehr zunimmt, je gröber die Körner sind (Tab. 25, Sp. B):

> Während beim feinen Mittelsand der Anteil des Horstes den leeseitigen nach Geschwindigkeit I um 20,5 % und nach Geschwindigkeit II um 17,5 % übertrifft, ergibt sich beim groben Mittelsand nach Geschwindigkeit I eine Differenz von 14,4 %. Nach Geschwindigkeit II beträgt sie aber 73,2 % (Verhältnis zwischen den Zunahmen = 1 : 5,09). - Die Anteile noch gröberen Sandes (= Grobsand) verhalten sich folgendermaßen: Nach Geschwindigkeit I schneidet der Horstanteil um 71,4 % besser ab als der Leeanteil; wenn der Wind anschwillt, übertrifft er ihn sogar um 144,4 %. Bei keiner anderen Fraktion ergibt sich unter Einwirkung einer der beiden Geschwindigkeiten zwischen den Anhäufungszonen eine größere Anteilsdifferenz.
>
> Um zu verdeutlichen, wieviel stärker sich das sowieso schon großkörnigere Horstmaterial als der Leesand bei zunehmender Windstärke vergröbert, wird die Differenz, die zwischen beiden Anhäufungszonen hinsichtlich des Anteils an feinem Mittelsand zustande kommt, mit der Differenz ihrer Grobsand-Anteile verglichen, und zwar nach beiden Geschwindigkeiten: Im Falle der Geschwindigkeit I verhalten sich die Differenzen wie 1 : 3,5. Nach Geschwindigkeit II ergibt sich sogar ein Verhältnis von 1 : 8,4.
>
> Ungefähr im gleichen Maße wie die leeseitige Anhäufungszone bezüglich der großkörnigeren Fraktionen (= feiner Mittelsand und gröber) gegenüber dem Horst benachteiligt ist, erfährt sie in Hinblick auf das kleinkörnige Material (= grobkörniger Feinsand und feiner) eine Begünstigung: Ihr Anteil am groben Feinsand ist nach Geschwindigkeit I um 18,3 % und nach Geschwindigkeit II um 22,0 % größer.
>
> Der leeseitige Anteil des feinen Feinsandes übertrifft den des

Horstes ebenfalls deutlich. Das gilt allerdings nur nach Geschwindigkeit I; es ergibt sich dabei eine Differenz von 20,4 %. Nach Geschwindigkeit II beträgt sie nur 6,1 %. Der Grobschluff verhält sich umgekehrt: Sein Leeanteil ist nach Geschwindigkeit I um 8,7 %, nach Geschwindigkeit II dagegen um 58,3 % umfangreicher als im Horst.

Daß die Zusammensetzung des Horstmaterials durch einen höheren Anteil an großkörnigem Sand gekennzeichnet ist und daß dessen Anreicherung bei zunehmendem Wind teilweise einen größeren Umfang erreicht, als das beim Material der leeseitigen Anhäufungszone geschieht, hat folgende Ursache:

Da der Transport großkörnigen Materials bei Geschwindigkeit I hauptsächlich auf oder wenig über der Strömungssohle erfolgt und nur kleinkörniger Sand aufsteigt, stellt sich das meiste grobe Material an der Luvseite und im Horst des Hafers ein. Diese werden von den bodennahen Strömungsabschnitten wesentlich stärker berührt als das Niederschlagsgebiet im Lee: Der Kontakt erfolgt auf ganzer Breite und Höhe des Hindernisses durch frontalen Aufprall bzw. durch Verwirbelung der Luftmassen im Halm- und Stengelverband.

Aber selbst wenn grobe Körner in gleicher Menge auf der Leeseite angehäuft würden, könnten sie bei der Zusammensetzung des dortigen Sandes nicht die gleiche Rolle spielen wie im Horst, denn: Der Strömungsarm, der in deutlichem Abstand vor dem Hindernis nach oben abgelenkt wird und erst im Lee weitgehend zur Materialabgabe gelangt, liefert - da er in größerem Abstand über den Boden fließt - einen erheblichen Teil an feinem Sand. Dadurch wird die Zusammensetzung des leeseitigen Materials deutlich zugunsten der kleinkörnigen Fraktionen beeinflußt.

Nach Geschwindigkeit II ist der Horstsand noch gröber als vorher, denn jetzt werden jene großen Körner verstärkt verfrachtet und vom luvseitigen Hafer gefangen, die bei Geschwindigkeit I nicht oder nur beschränkt am Transport teilnahmen. Obwohl er nun höher aufsteigt, ist auch der Sand, der bei dieser Geschwindigkeit noch als besonders grob in Erscheinung trat, größtenteils weiterhin dem Niederschlag auf der Luvseite unterworfen: Da sich der Horst stärker umbiegt und schließt, bildet er im ganzen ein bedeutsameres Hindernis. - Ein kleiner Teil kommt allerdings der leeseitigen Anhäufungszone zugute, und zwar zusammen mit dem etwas vergrößerten Material des aufwärts abgelenkten Stromarmes. Dieser ist jetzt nämlich transportfähiger als bei geringer Fließgeschwindigkeit.

3.2.4.3 Die Bedeutung der Haferdünen für die Aufhöhungsgebiete

Da der Hafer, wie dargestellt, aufgrund seines größeren und dichteren Wuchses erheblich mehr Sand fängt als der Weizen, erweitern sich seine Dünen wesentlich schneller. Dabei handelt es sich sich aber nicht um eine Entwicklung, die immer gleich stark in die Breite und Höhe

geht. Und noch weniger ergibt sich ein Wachstum mit vorherrschender horizontaler Komponente wie beim Weizen, aus dem - wie gezeigt - eine zwar nur allmähliche, dafür aber weitgehend unterschiedslose Aufhöhung auf ganzer Standortbreite resultiert.

Die Haferdünen bauen sich vielmehr als isolierte Gebilde mit häufig steil abfallenden seitlichen Hängen auf. Das ausgeprägte vertikale Wachstum bringt innerhalb kurzer Zeit meterhohe Anhäufungeformen zustande. So sind die jungen Haferdünen der westlichen Aufhöhungsgebiete in den wenigen Jahren ihres Bestehens (= ca. 3 Jahre) bereits teilweise 1,5 m und mehr über das Weizenfeld, auf dem sie sich entwickelt haben, emporgewachsen (Abb. 145 - 149). Legt man die umliegende Strandfläche ohne Dünen bzw. mit niedrigen, stark exponierten Weizengebilden als Basis zugrunde, so ergibt sich sogar eine Höhe von etwa 3 m. - Verglichen mit der Mächtigkeit selbst nur der jungen NO-Randdünen des alten Dünengeländes (= bis zu 9 m hoch) ist sie noch nicht beträchtlich; bezieht man sie aber auf die Höhenverhältnisse der Ostplate, so erscheint sie bedeutsam: Jene Platenteile, die sogar bei hohen Wasserständen nicht überflutet werden und daher in ihrem Aufhöhungsprozeß keine rückläufige Entwicklung bzw. zeitweilige Unterbrechung erfahren, gewinnen an Zahl.

Mit zunehmender Ausbreitung des Hafers bilden sich kleine Dünengruppen. Aber auch in diesem Fall machen sich teilweise erhebliche Differenzen bemerkbar. Jede Düne entwickelt sich nämlich weitgehend individuell, so daß innerhalb der Gruppe und später, wenn - durch zunehmendes seitlichen Vorwachsen auf der Grundlage fortlaufender Volumenvergrößerung - ein etwas dichteres Dünenfeld zustande kommt, längst nicht so einheitliche Figuren wie innerhalb der Weizenverbände bestehen.

So geschlossen wie diese können die Haferdünen selbst bei noch stärkerer Materialzufuhr und Pflanzenausbreitung vorerst nicht werden: Durch ihre unterschiedliche Höhe bieten sie dem auftreffenden Luftstrom zahlreiche Möglichkeiten zum Eindringen in ihren Standort. Da er dabei beschleunigt wird, erzeugt er deutliche Ausblasungsschneisen. Diese sind umso ausgeprägter, je höher die einzelnen Dünen aufragen, je stärker also der Strom komprimiert wird. Besonders bedeutsam ist in diesem Zusammenhang der Wind aus dem südwestlichen Sektor, denn er führt - gemessen an dem aus W bis NW - nicht nur verhältnismäßig wenig frischen Sand heran, sondern weist auch hohe Wehhäufigkeit und -intensität auf.

Die sehr positive Entwicklung, die von der raschen Vergrößerung der Haferdünen ausgeht, wird also von einem entgegengesetzten Vorgang begleitet. Dieser spielt jedoch auf Dauer nur eine untergeordnete Rolle. Er steht nämlich in keinem Verhältnis zu der erheblichen Begünstigung, die die wachsenden Aufhöhungsgebiete in Bezug auf die Minderung des Wassereinflusses erfahren.

Davon werden nach und nach auch die mittleren Platenteile betroffen, denn die Haferdünen siedeln sich mit steigender Tendenz immer weiter ostwärts an. Ihre Ausbreitung erfolgt hier aber im ganzen langsamer als nach dem ersten Auftreten im Bereich der westlichen Aufhöhungsgebiete: Die Weizenverbände sind im Mittel erst bis zu einer Höhe von knapp +2 m MThw emporgewachsen. Ein solcher Standort ist noch nicht ausgesüßt genug, damit der Hafer in größeren Mengen auftreten

Abb. 145

Abb. 146

Abb. 145 bis 149

Strandhaferdünen-Entwicklung auf den vom Strandweizen als Standort vorbereiteten Aufhöhungsgebieten der westlichen Ostplate:

Abb. 145: Erster Strandhaferhorst im flach-kuppigen Weizendünenfeld (Blick W)

Abb. 146: Strandhafer breitet sich immer mehr aus, bevorzugt auf den höchsten Kuppen des Weizenfeldes; noch keine eigene Dünenbildung (Blick NW)

Abb. 147

Abb. 148

Abb. 147: Junge Strandhaferdünen; stark übersandetes Weizenfeld dient als Standort (Blick NNW)

Abb. 148: Vergrößerte Haferdünen ragen nun als eigenständige Bildungen punkthaft über das Weizenfeld empor (Blick NW)

Abb. 149

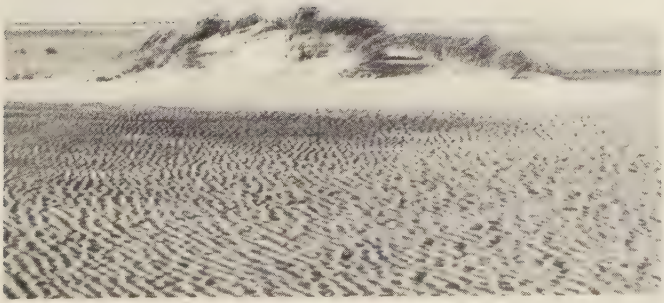


Abb. 150

Abb. 149: Strandhafer hat sich auf dem gesamten Weizenfeld ausgebreitet; es bilden sich Zentren verstärkter Aufhöhung und Ausweitung heraus (Blick W)

Abb. 150: Bei Sturmfluten geraten die exponiertesten Haferdünen in Abbruch, hier: Haferdüne mit Standort fast in der Mitte einer der Strand-Watt-Verbindungen (westliche Ostplate, Blick N)

kann und der Weizen in gleichem Umfang zurückgebildet wird.

Mit der Darstellung der ersten Ansiedlung und Ausdehnung des Strandhafers und seiner Dünen endet die Untersuchung der Ostplate-Entwicklung zur Düneninsel: Ein weiteres Entwicklungsstadium (= IV) liegt noch nicht vor. Selbst im Bereich der westlichen Aufhöhungsgebiete sind nicht einmal Ansätze dazu zu erkennen. Ihre durchschnittliche Höhe, Breite und Geschlossenheit reichen nicht aus, damit sich Pflanzen einstellen können, die dem Hafer in der Dünenbesiedlung folgen bzw. zunächst mit ihm Hand in Hand gehen und für charakteristische Formveränderungen sorgen.

Da der Reifungsprozeß der gesamten Ostplate aber - wie an der raschen Aufeinanderfolge der früheren Entwicklungsstadien gezeigt worden ist - aufgrund der ständig starken Materialzufuhr schnell voranschreitet, wird sich das Stadium IV wahrscheinlich noch in diesem, bestimmt aber im nächsten Jahrzehnt zumindest teilweise einstellen. In welcher Weise es sich dann im Formenschatz der Ostplate ausdrücken dürfte, soll im folgenden umrissen werden, und zwar in Verbindung mit einem zusammenfassenden Überblick über die gegenwärtige Verbreitung und den Entwicklungszustand der Dünenarten.

3.2.5 Der gegenwärtige Entwicklungszustand der Ostplate und das zukünftige Aussehen ihres Formenschatzes

Wie bei den letzten Anmerkungen zur Ausbreitung des Hafers in den Bereich der mittleren Aufhöhungsgebiete hinein anklang, laufen auf der Ostplate zur Zeit verschiedene Stadien der Düneninselentwicklung mit ihren jeweils typischen Akkumulationsformen gleichzeitig und teilweise auf engsten Raum nebeneinander ab. Es handelt sich dabei aber nicht nur um Stadien, die einander unmittelbar folgen oder sogar zum Teil ineinander übergehen, wie das etwa bei den Strandhafer- und Strandweizendünen der Fall ist. Es sind auch weiter auseinander liegende Entwicklungsvorgänge in enger Nachbarschaft möglich. So stellen sich in den Spülsäumen, die von hohen winterlichen Fluten an den Rändern der exponiertesten Hafer- oder Weizendünen angelegt werden, zeitweilig Saumpflanzen mit den zugehörigen Anhäufungsformen ein und gehen teilweise in diese Dünen über. Unten mehr dazu!

Diese Erscheinung zeigt, daß der Formenschatz eines Stadiums in allen nachfolgenden Entwicklungsstadien zwar nicht im gleichen Umfang und mit der gleichen morphologischen Bedeutung, aber doch mit vielen typischen Bildungsabläufen fortbesteht.

Ein gutes Beispiel sind die form- und lageinstabilen Anhäufungsformen. So treten die Barchane und Zick-Zack-Streifen auch heute noch in vielfacher Zahl auf und durchlaufen alle Phasen ihrer Entwicklung. Das geschieht, obwohl die Fläche für ihre Entstehung und Ausbreitung wesent-

lich kleiner ist als vor 20 bis 25 Jahren, also während jenes Zeitraumes, in dem sie - von den Akkumulationsgebilden in den Spülsäumen und den Hindernisdünen auf dem offenen Strand abgesehen - allein den Entwicklungsstand des Formenschatzes der Ostplate repäsentierten:

3.2.5.1 Die Verbreitungsgebiete der wichtigsten Dünenarten und ihre zu erwartenden Veränderungen (Abb. 151)

3.2.5.1.1 Die Zick-Zack-Streifen und barchanartigen Bildungen

Unterhalb von MThw:

Die 2-Faktoren-Dünen sind überall auf dem nassen Strand anzutreffen. Eine Ausnahme bilden jene Strandstellen, wo der Strandwall infolge der anlandenden Strandprielrinnen einen Durchlaß aufweist, wo also die Wassereinwirkung früher beginnt und später endet als auf den benachbarten Strandteilen. - Trotz der ständigen starken Materialzufuhr von der östlichen Plate herunter bleibt auch der nasse Strand, der zum Harlegat hin exponiert ist, ohne Anhäufungsformen: Er fällt dafür viel zu steil ab.

Oberhalb von MThw
treten die 2-Faktoren-Dünen an folgenden Stellen auf:

A. Sie finden sich sehr häufig in dem ein großes Dreieck beschreibenden Strandabschnitt zwischen dem NO-Rand des Dünengeländes des westlichen Inselteils, dem Strandwall und den Dünenkomplexen der Plate, die am weitesten nach W reichen.

Das Gebiet hat eine durchschnittliche Höhenlage von 0,40 bis 0,50 m MThw (= 1,67 bis 1,77 m NN). Es ragt jedoch nach W bis SW zum Vorfeld der jungen NO-Dünenzüge des alten Inselteils höher empor. Nach S, in Richtung des jungen Hellers zwischen der westlichen Insel und den südwestlichsten Platendünen, fällt es dagegen ab. Trotzdem treten hier die Dünen des besagten Typs auf. Nur im Ostteil der Übergangszone breiten sie sich etwas seltener aus, weil hier die Höhenlage stellenweise noch etwas ungünstiger ist und aus dem Strandwall-Durchlaß bei entsprechenden Flutständen Wasser weit südwärts vordringt.

Insgesamt erreicht das Verbreitungsgebiet eine N-S-Ausdehnung von 1 bis 1,2 km und - soweit die Plate betroffen ist - eine Breite von knapp 1 km. Es steht jedoch nicht uneingeschränkt den instabilen Bildungen zur Verfügung. Vor allem in seinen nördlichen Abschnitten wird es nämlich bereits teilweise von den erwähnten Sandgebilden eingenommen, die in Form von isolierten Strandweizendünen sowie mannigfach gegliederten, sehr flachen Weizendünenkomplexen auftreten.

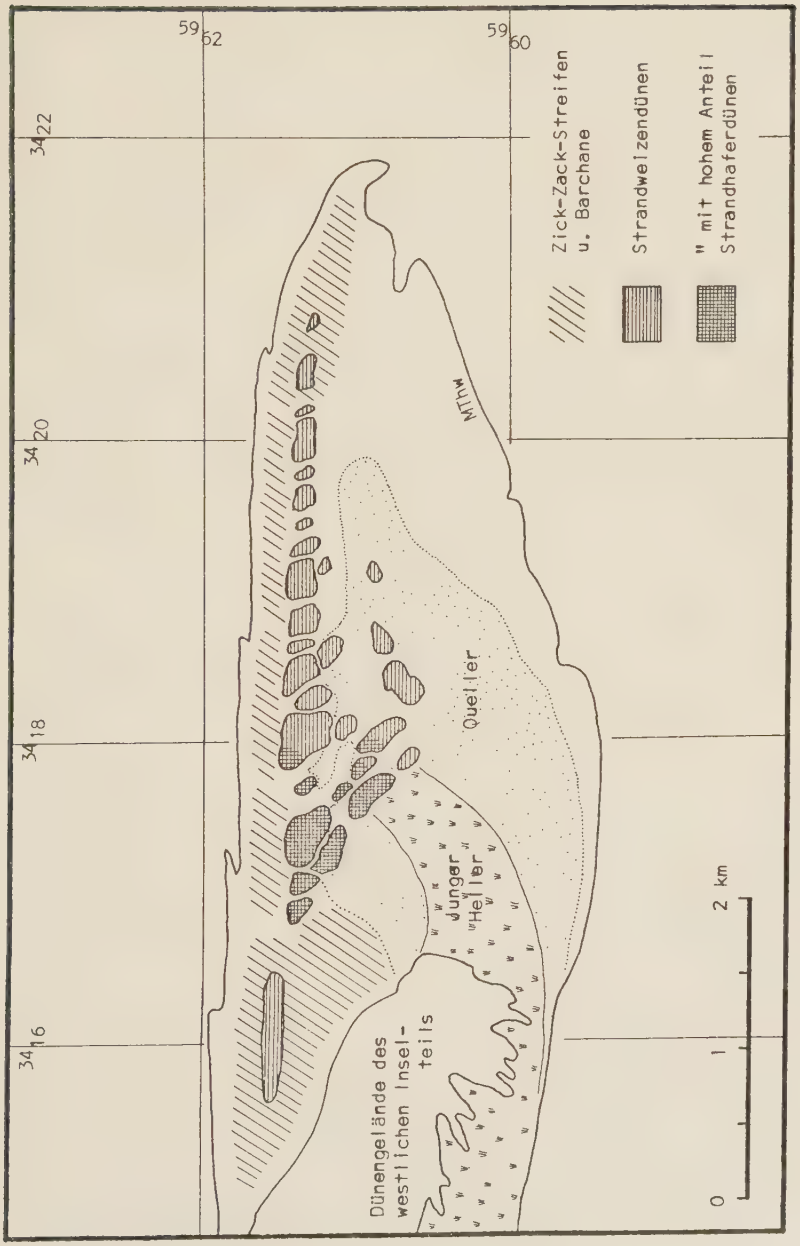


Abb. 151: Die Verbreitungsgebiete der vergänglichen und dauerhaften Dünenarten

B. Im Bereich des trockenen Nordstrandes ist das Gebiet, in dem die Voraussetzungen für die Entwicklung von 2-Faktoren-Dünen gegeben sind, nur ziemlich schmal: Es erstreckt sich südlich des Strandwalls als durchschnittlich 200 m breites Band entlang der Weizendünenfelder nach O. Zwischen dem Strandwall und dem nördlichen Rand der Dünen der mittleren Plate wird selbst diese Ausdehnung nicht ganz erreicht. Entsprechend wenig können sich Streifen und Barchane entfalten.

Noch stärker wird ihr Zustandekommen stellenweise dort eingeschränkt, wo der Strandwall - im besagten Anlandungsbereich von Strandprielen - leicht abflacht und Fluten von einigen Dezimetern über Normal einen Durchlaß in Richtung S zum Zentrum der Plate bietet.

C. Über die Möglichkeit zur weiträumigen, verhältnismäßig ungestörten Bildung und Entwicklung verfügen die unbeständigen Anhäufungen auf der eigentlichen Ostspitze der Ostplate, wo sich die großen zusammenhängenden Weizendünenfelder immer mehr lichten und nur noch vereinzelte, teilweise weit auseinanderliegende junge Dünen auftreten. - Die Streifen und barchanartigen Bildungen kommen hier besonders häufig zustande und nehmen ostwärts die ganze Platenspitze ein, soweit diese über MThw liegt. Je nach Höhe der einzelnen Wasserstände schieben sie sich auch weit wattwärts vor. Dabei wandern sie sogar auf die bereits schlickigen Flächen westlich und nordöstlich des schmalen W-O-gerichteten Priels (= Rest des ursprünglichen Harlearmes Hw) hinaus, der zur sogenannten Alten Harle (= ursprünglicher Harlearm Hm) hin entflutet.

Rechnet man vom Rand der letzten geschlossenen Weizendünengruppe an ostwärts bis zur Harle, so hat das Verbreitungsgebiet eine Gesamtausdehnung von gut 1 km. Es erstreckt sich im östlichen Vorfeld der Dünen in N-S-Richtung über 350 bis 400 m und in Höhe der Ostbake über 300 m Breite.

Besonders die Verbreitungsgebiete A und C werden in Zukunft deutlich an Größe einbüßen; sie stellen nämlich weitgehend jene Platenabschnitte dar, in die sich - nach weiterer Aufhöhung - dauerhafte Dünen vorschieben. Das geschieht von den Rändern der exponiertesten Aufhöhungsgebiete der westlichen und östlichen Plate aus. Im Fall von Verbreitungsgebiet C erfolgt die Besiedlung von W nach O in Form der ostwärtigen Vergrößerung der östlichsten Aufhöhungsgebiete, im Fall A von O nach W. An der Verkleinerung dieses Gebietes sind auch die stark expandierenden Dünen beteiligt, die den nordöstlichen Abschnitt des Dünengeländes des westlichen Inselteils darstellen.

Aufgrund ihrer günstigen Lage im SO bis S jenes Strandbereichs, in dem die Riffe des Barrebogens anlanden, erhalten sie ständig reichlich Material. Das geschieht unter Einwirkung a. nordwestlicher bis nordöstlicher Winde, die für direkte Zufuhr sorgen, sowie b. nordwestlicher bis westlicher Winde, von denen der Sand am nördlichen Dünenrand entlang südostwärts in die Akkumulationszone hinein gedriftet wird. Die Dünen entwickeln sich daher an dieser Stelle so schnell wie sonst nirgendwo auf dem westlichen Inselteil. Sie wachsen rasch auf die Plate vor, und zwar in Richtung ihrer westlichsten Aufhöhungsgebiete. Diese Ausweitungstendenz zeigt an, daß hier in absehbarer Zeit mit einer Vereinigung der Dünengebiete von westlichem Inselteil und Ostplate zu rechnen ist. - Welchen großen Umfang das platenwärtige Wachstum der nord-

östlichen Dünen seit der Jahrhundertwende erreicht hat, geht aus Abb. 100 hervor.

3.2.5.1.2 Die Spülsaumdünen

Sie kommen jetzt in wesentlich geringerer Zahl vor als in dem für sie typischen Entwicklungsstadium am Beginn der Düneninselwerdung. Das gilt sowohl für die Hindernisdünen als auch für die Frühformen der pflanzenbedingten Bildungen: Die Säume hoher winterlicher Fluten, die ja in erster Linie für diese die Entfaltungsbasis abgeben, verlaufen nicht mehr als nach allen Seiten freiliegende wall- oder ringartige Bänder. Sie werden vielmehr - je nach Auflaufhöhe des Wassers - am Fuße oder an den Hängen der randlichen Dünen der Aufhöhungsgebiete abgesetzt.

Daher treten ihre Treibzeugteile dem materialhaltigen Luftstrom durchweg nicht so eindeutig als Hindernisse entgegen wie auf der freien Strandfläche. Entsprechend eingeschränkt ist die Möglichkeit zur Dünenbildung. Wenn überhaupt Anhäufungsformen erzeugt werden, gehen sie meistens in die Dünen des Anlandungsortes über. Es fehlt also der Platz für ausgeprägte Leefahnen oder weite Zungenhügel. Auch bei Richtungsänderungen des Windes ergeben sich keine so deutlichen Umlagerungsvorgänge wie auf offenem Standort.

Trotzdem haben die eingeschränkt entstehenden Gebilde positive Bedeutung: Wie sie im einzelnen auch immer geformt sein mögen, sie stellen zeitweilig stabile Sandanhäufungen dar. Da sie in unmittelbarer Nähe von sandbindenden Gräsern auftreten, können aus ihnen - wenn sie durch diese eine Durchwurzelung erfahren - sogar dauerhaft stabile Materialmassen werden, so daß sie zur Ausweitung der Aufhöhungsgebiete beitragen.

Nur an einer Stelle der Ostplate liegt ein großes Gebiet vor, in dem die Spülsaumdünen weiter als freie Bildungen entstehen und sich entfalten können: Auf der weiten, noch offenen Strandfläche der Ostspitze der Plate, die - wie gezeigt - als wichtiges Verbreitungsgebiet der 2-Faktoren-Dünen dient, stellen sich bei deutlich überdurchschnittlichen Wasserstände Säume ein. Ihr Treibzeug ragt den Winden aller Richtungen zur Sandanhäufung bzw. -umlagerung entgegen. - Je nach Fluthöhe treten die Säume als mehr oder weniger geschlossenes und ausgeprägtes Band auf: Bei mittleren bis hohen Wasserständen hat es die Gestalt eines großen spitzwinkligen Dreiecks mit O-Ausrichtung. Der zentrale Teil der Platenspitze, den es umläuft, ist nämlich ungefähr so geformt. Bei sehr hohen Flutständen stellt sich ein einziges Band ein, das etwa strandparallel über den zentralen Teil verläuft, und zwar in seinem südlichen Abschnitt, wo die Wassermassen von See mit denen aus dem Watt zusammentreffen.

Was im vorigen Abschnitt bezüglich der zukünftigen Verbreitung der vergänglichen Dünen auf der Ostspitze gesagt worden ist, trifft auch für die Saumdünen zu: Mit fortschreitender Aufhöhung und Besiedlung durch dauerhafte Dünen, die von W her verstärkt erfolgt, wird die Möglichkeit zur Anlage freier Säume verringert. Daher treten Säume und Saumdünen schließlich auch hier nur noch vorwiegend an den Rändern größerer, stabiler Gebilde bzw. ganzer Dünenverbände auf.

3.2.5.1.3 Die Strandweizendünen

Die Strandweizendünen stellen im gegenwärtigen Dünengelände der Ostplate, das mit etwa 2,2 qkm erst ungefähr halb so groß ist wie das des westlichen Inselteils einschließlich aller Haken und Dünengruppen im Hellergebiet, die verbreitetste Dünenart dar. Das bedeutet: Das Düneninselstadium II dominiert hier noch. - Diese Dominanz bleibt freilich nicht mehr lange bestehen. Einige Weizengebiete weisen bereits einen solchen Reifegrad auf, daß sich das folgende Stadium in wenigen Jahren einstellen wird.

Am weitesten sind die Verbreitungsgebiete

A. innerhalb des Gesamtdünengeländes der zentralen Plate und

B. im S davon, d. h. im Übergangsbereich zum jungen Platenheller,

entwickelt:

A. Diese Verbreitungszone liegt in Gestalt der zahlreichen Aufhöhungsgebiete der mittleren bis östlichen Plate vor. Sie erstreckt sich einschließlich aller großen und kleinen Unterbrechungen auf einer Länge von etwa 3 km fast geradlinig ostwärts, und zwar in einem mittleren Abstand von 250 m parallel zum Strandwall. Wenn man von den jungen Weizenstandorten im NW der Plate absieht, erreicht sie also etwa drei Viertel der Länge des gesamten Dünengeländes. - Das N-S-Ausmaß beträgt im W zunächst gut 500 m, nimmt dann aber allmählich ab. Die östlichen Gebiete messen nur noch 200 bis 250 m. Wenn aber hier wie auch für den Raum weiter westlich alle Ausläufer in Richtung See und vor allem wattwärts hinzugezählt würden, könnte teilweise eine beträchtlichere Ausdehnung angegeben werden.

Die W-O-Abnahme gilt auch für die Anordnungsdichte: Im westlichen Verbreitungsgebiet stoßen die einzelnen Weizenfelder dicht aneinander; teilweise gehen sie fast unterbrechungsfrei ineinander über, so daß langgestreckte Dünenverbände vorliegen. Die Gefahr des Abbaus durch hohe winterliche Fluten ist daher weitflächig verringert oder sogar ganz ausgeschaltet und infolgedessen die Gewähr für eine rasche Fortentwicklung gegeben.

Im O bestehen dagegen große Abstände. Das hat folgende Ursache: Die Strand-Watt-Vertiefungen sind hier breiter und tiefer (im Mittel: 1,60 m NN = 0,33 m MThw) als im Bereich der westlichen Standorte; sie geraten daher häufiger unter Wassereinfluß. Das Weizendünengebiet liegt nämlich bereits wieder außerhalb jener mittleren bis östlichen Platenzone, die durch die inselseitigen Ausläufer der Wattwasserscheide begünstigt ist und - zumindest im wattseitigen Abschnitt - einige Zentimeter höher über den Einwirkungsbereich des mittleren Hochwassers aufragt (Sohlenlage der Vertiefungen hier: nur durchschnittlich 1,70 m NN = 0,43 m MThw) als die Platenteile weiter westlich und östlich.

Trotzdem schreitet auch im O der Vorgang des Zusammenwachsens der einzelnen Weizenfelder auffällig voran: Das Wachstum über ihre randlichen Abschnitte hinaus nimmt - aufgrund der verstärkten Dünenentwicklung - nämlich immer mehr zu. Daher wird der Einfluß des Wassers zurückgedrängt. Das geschieht aber zunächst weniger im Sinne einer allgemei-

nen, nachhaltigen Abschwächung als vielmehr in Richtung auf eine Festlegung auf bestimmte Stellen hin: Nur noch einige der Vertiefungen dienen als ausgeprägte Passagen für die Wasserbewegung zwischen Strand und Watt. Sie bleiben daher allerdings auch zukünftig noch lange offen. Eine baldige Schließung wäre aber sowieso nicht wünschenswert, denn dann würden die jetzt weitgehend sicheren randlichen Dünen erneut gefährdet und die bevorstehende Ausbreitung von Strandhafer, d. h. der Beginn des Düneninselstadiums III, an diesen Stellen verhindert (Abb. 152 u. 153).

B. Die zweite wichtige Gruppe der Welzendünen nimmt die Dünenkomplexe (mittlere Höhe: 2,50 m NN = 1,23 m MThw) ein, die sich den westlichen bis mittleren Aufhöhungsgebieten wattwärts anschließen, die also außerhalb der W-O-verlaufenden und -entwickelten Gesamtdünenzone der Plate liegen.

Das Verbreitungsgebiet hat - einschließlich aller Unterbrechungen - eine W-O-Erstreckung von 1,5 km und eine Breite von 400 bis 500 m. Die einzelnen Dünenkomplexe, die freilich nur zum Teil dieses Ausmaß erreichen, zeigen zwar in ihren Akkumulationsformen im Detail die gleiche SO-Ortientierung, sie sind aber nicht so regelmäßig hintereinander nach O aufgereiht wie die Aufhöhungsgebiete im Bereich A. Eine zumindest teilweise systematische Anordnung ist jedoch auch hier zu erkennen: Die Komplexe stellen durchweg gleichsam die südöstliche Verlängerung der jeweils seewärts vorgelagerten Aufhöhungsgebiete dar. Sie zeigen damit an, daß sie aus Material bestehen, daß von diesen nicht festgelegt bzw. an jenen ihrer Ränder verdriftet worden ist, die zu den Strand-Watt-Vertiefungen bzw. zur Strandfläche zwischen dem Dünengebiet der Plate und dem NO-Rand des westlichen Inselteils exponiert sind.

Obwohl sie den vorherrschenden, am meisten Anhäufungsmaterial transportierenden Winden nicht ganz so direkt entgegentreten wie die mehr seeseitigen Aufhöhungsgebiete, sind sie für die baldige Ausbreitung von Strandhafer vorbereitet. Sie dürften dies sogar in noch stärkerem Maße als die östlichen Felder des unter A beschriebenen Verbreitungsgebietes sein. Der Grund dafür muß in dem Umstand gesehen werden, daß hier die abbauende Einwirkung des Wassers nicht nur jetzt, sondern von Anfang an geringer gewesen ist als weiter seewärts: Die Standorte befinden sich im Einflußbereich des Flutstromastes, der vom Watt her vordringt und daher normalerweise sowieso geringeren Wellenschlag und niedrigere Strömungsgeschwindigkeiten aufweist. Auch bei Sturmfluten, wenn der Einfluß der von See kommenden Wassermassen spürbar wird, unterliegt das Gebiet keiner so großen Gefährdung wie die anderen Aufhöhungsgebiete. Da sich diese ja von NW bis O vorlagern, üben sie - trotz aller offenen Unterbrechungen - nämlich eine deutliche Deichfunktion aus.

Daß die Dünenbildung durch den Hafer dann später jedoch langsamer und nicht bis zu einem vergleichbaren Entwicklungszustand ablaufen wird wie im Verbreitungsgebiet A, daß also im gleichen Zeitraum und auch insgesamt nicht so voluminöse Akkumulationsgebilde zustande kommen können, hängt mit der Ausbreitung des Quellers zusammen. Wie an anderen Stellen des Wattenraumes tritt er auch auf Spiekeroog als erste Verlandungspflanze auf und gedeiht hier in der Höhenlage zwischen -0,25 m und +0,30 m MThw (= 1,02 und 1,57 m NN) sowie stellenweise noch darüber. (Abb. 154 u. 155). Er hat sich nach 1950 von W und SW aus dem oberen Inselwatt des westlichen Inselteils heraus rapide auf der gesamten westlichen und mittleren Wattseite der Plate ohne Unterbrechung ausgebreitet. Hier nimmt er nun ein Gebiet mit einer W-O-Erstreckung von gut 3 km und

einer maximalen Breite von 1,5 km ein. Inzwischen ist er so weit nach NO vorgedrungen, daß er die gesamte Umgebung der Dünenkomplexe besiedelt, und zwar auch in Richtung der vorherrschenden, materialreichen Winde (Abb. 156 u. 157).

Daher erfolgt die Sandversorgung der Dünen nicht in gleichem Umfang wie weiter seewärts, denn erhebliche Teile des Sandes werden von den Quellerbäumchen zum Niederschlag gebracht. Daraus folgert zwar, daß eine allgemeine Aufhöhung stattfindet und deshalb der Wassereinfluß geschmälert wird, die Dünenentwicklung erfährt aber keine positive Beeinflussung. Das geschieht selbst dann nicht, wenn der Queller - infolge der Aufhöhungsvorgänge - in die Degenerationsphase eintritt und den Materialtransport in Richtung der Dünen weniger behindert; das Gegenteil ist der Fall!

Am Zustand der Übergangszone zwischen den südwestlichen Aufhöhungskomplexen und dem jungen Hellergelände, das sich - dem Queller folgend - seit Mitte der fünfziger Jahre von SW her 1,5 km weit (mittlere Breite: 0,8 km) auf die Plate vorgeschoben hat (Abb. 159) und nun bis zu den Aufhöhungsgebieten reicht, wird deutlich: Auf den Queller folgen sofort die Pflanzen des Andelrasens und der Salzwiesengesellschaften. Indem sie den bodennahen Transport weitgehend bis ganz unterbinden und - wie im Fall des Andels (Abb. 158) - selber den Sand festlegen, schränken sie die Materialzufuhr noch drastischer ein als der Queller. Es wird dadurch nicht nur das weitere vertikale Wachstum der Dünen deutlich beeinträchtigt, sondern auch ihre horizontale Vergrößerung negativ beeinflußt. Sie treten in Zukunft daher zwar als aufragende Gebiete innerhalb der Hellerfläche auf, entwickeln sich jedoch nur noch sehr langsam weiter.

C. Dieses Verbreitungsgebiet ist das bei weitem jüngste. Im Kapitel über das Düneninselstadium I wurde es im Zusammenhang mit der Darstellung von Weizenpionieren erwähnt, die sich außerhalb der Aufhöhungsgebiete auf exponierten Standorten einstellen (3.2.3.2.1). Das Gebiet liegt im N der Übergangszone zwischen Plate und westlichem Dünengelände und erstreckt sich als langes Feld parallel zum Strandwall: Wenn man nur die Weizenvorkommen berücksichtigt, die in einem verhältnismäßig geschlossenen Verband stehen, und nicht jene, die sich vereinzelt weit aus dem Standort heraus nach S bzw. O vorschieben, beträgt seine W-O-Ausdehnung ungefähr 800 bis 900 m. Die Breite macht im Mittel 200 m aus.

Während die Weizendünen der Verbreitungsgebiete A. und B. soweit herangereift sind, daß sie das Ende des Entwicklungsstadiums II und den bevorstehenden Übergang ins Stadium III anzeigen, geben die Dünen dieses Standortes erst den Beginn des Stadiums II an:

In der Regel erreichen sie allesamt nur eine geringe Höhe (= einige dm). Das ist keine Folge einer zu geringen Materialzufuhr, sondern vielmehr das Resultat der ungünstigen Lage des Standortes. Er reicht nicht weiter als ungefähr 0,30 bis 0,35 m über die MThw-Linie empor. Daher kann das Wasser sehr häufig abbauend wirksam werden. Besonders während der Wintermonate haben die Dünen oft nur einige Tage Zeit, um an den zerstörten Stellen neuen Sand anzuhäufen oder sich ein wenig weiter aufzuhöhen. - Die angegebene Lage will freilich nicht besagen, daß alle Fluten dieser Auflaufhöhe bis in das Dünengebiet vordringen. Der Strandwall ragt nämlich noch gut 20 bis 30 cm über es auf und übt daher eine Deichfunktion aus. Das gilt besonders für den westlichen Abschnitt des Standortes, wo kein Durchlaß im Wall besteht.

Abb. 152

Abb. 153

Abb. 152: Große Strand-Watt-Verbindung zwischen Weizenfeldern der mittleren Ostplate; Hinweise auf Einengung und Verlandung: Ausweitung der Dünenverbände über den Rand der Aufhöhungsgebiete hinaus, im Mittelgrund aufgeschlickte wattseitige Ausmündung, Quellerbestände (Blick SO)

Abb. 153: Zwischen den weitgehend stabilen Aufhöhungsgebieten bleiben Strand-Watt-Verbindungen für Wasseraustausch bei hohen Flutständen offen, hier: schmale, tiefe Rinnen im Bereich der Weizendünen-Aufhöhungsgebiete (mittlere Ostplate, Blick NNO)

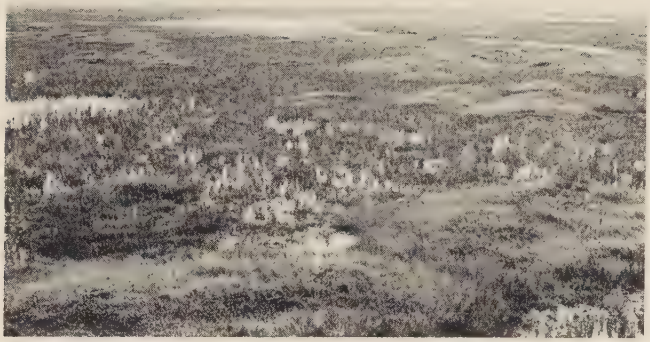


Abb. 154

Abb. 155

Abb. 154: Verlandungsbeginn: Weites Quellergebiet am Wattrand der mittleren Ostplate, vereinzelte Andelbulten (Blick OSO)

Abb. 155: Fortschreitende Verlandung: Quellerstandort ist so weit aufgehöht, daß Andelanteil zunimmt (mittlere Ostplate südlich der Aufhöhungsgebiete, Blick NO)

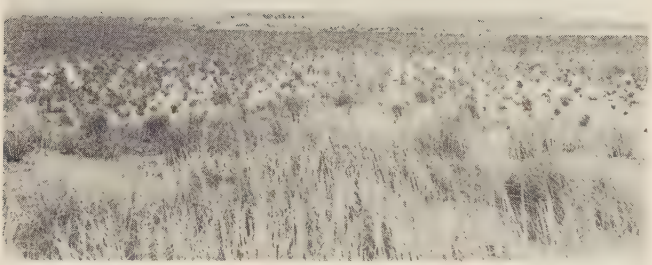


Abb. 156

Abb. 157

Abb. 156: Queller (Optimaltyp) dringt weit nach NO in das Verbreitungsgebiet der südlichsten Strandweizendünen vor (mittlere Ostplate, Blick ONO)

Abb. 157: Queller (Degenerationstyp) dehnt sich zwischen jungen Strandweizendünen aus, südliches Vorfeld der Aufhöhungsgebiete (mittlere Ostplate, Blick NO)

Abb. 158

Abb. 159

Abb. 158: Andelbulten am N-Rand des jungen Platenhellers, nach starker Übersandung durch NW-Wind (westliche Ostplate, Blick WNW)

Abb. 159: Junger Heller hat sich innerhalb von zwei Jahrzehnten bis zum Dünengebiet der Ostplate ausgebreitet, dadurch: erste Verbindung zwischen den Platendünen und den Dünen des westlichen Inselteils (Blick ONO, von jüngster O-Randdüne)

Abb. 160

Abb. 161

Abb. 160: Im Vorfeld der NO-Randdünen des westlichen Inselteils beginnt weitflächige Dünenbildung mit platenwärtiger Ausrichtung (Blick SO)

Abb. 161: Aufgrund ständiger Materialzufuhr wachsen die NO-Randdünen des westlichen Inselteils auf breiter Front platenwärts (Blick NNO, von der jüngsten geschlossenen NO-Randdüne)

Trotz seiner ungünstigen Lage und der daraus resultierenden Dünenbildung noch sehr beschränkten Umfangs kommt dem Gebiet ziemliche Bedeutung zu. Es zeigt nämlich, daß nicht nur in den mittleren bis südlichen Teilen des Übergangsraumes eine Verbindung zwischen Ostplate und altem Inselteil auf Dünengrundlage zu erwarten ist, sondern daß eine solche auch auf der Seeseite zustande kommen wird. Infolge der starken Exposition und der dadurch kurzfristig möglichen Veränderungen ist der Zeitpunkt dafür zwar nicht genau anzugeben, die Standortform und -größe lassen aber bereits die Lage und Ausrichtung der Vebindung erkennen:

Das Verbreitungsgebiet C befindet sich genau auf der Linie zwischen den-nördlichen Randdünen des westlichen Inselteils und den nördlichen Abschnitten der Aufhöhungsgebiete der Ostplate. Es scheint also ein Zusammenschluß sehr wahrscheinlich, der auf der alten Insel und der Plate ein Gesamtdünengelände mit einem strandparallelen, genau ostwärtigen Randverlauf entstehen läßt, und zwar ohne Unterbrechung, d. h. auf ganzer Länge vom NW-Kliff oberhalb der ausmündenden Otzumer Balje bis zur Ostspitze der Plate.

3.2.5.1.4 Die Strandhaferdünen

Als Verbreitungsgebiet der Strandhaferdünen werden hier jene Abschnitte im Dünenareal der Plate bezeichnet, die in Abb. 151 als "Strandweizendünen mit hohem Anteil an Strandhaferdünen" angeführt sind. Es geht also um jene Gebiete, in denen sich zwar das Entwicklungsstadium III endgültig durchgesetzt hat, die aber noch nicht in ganzer Breite allein vom Hafer eingenommen werden. Da der Weizenanteil jedoch schon sehr klein ist bzw. sich rasch verringert und da die Gebiete deshalb bei der Betrachtung der derzeitigen Strandweizenstandorte unberücksicht gelassen wurden, können sie jetzt ohne nachdrückliche Einschränkung als Verbreitungszonen von Strandhaferdünen dargestellt werden.

Die Strandhaferdünen nehmen die westlichsten Aufhöhungsgebiete ein und weisen eine W-O-Ausdehnung von gut 1 km auf; sie sind also zu einem Viertel an der Gesamtlänge des zentralen Dünengeländes der Plate beteiligt. Daß ihr Anteil tatsächlich aber größer ist, hat zwei Ursachen:

a. Die westlichen Aufhöhungsgebiete sind mit einer N-S-Ausdehnung von 500 m breiter als die mittleren und vor allem die östlichen.

b. Dem Haferdünenareal sind noch Teile zumindest der westlichsten Komplexe jener Dünengebiete zuzurechnen, die sich im S der zentralen Aufhöhungsgebiete ausdehnen und die oben als Weizendünenstandort B beschrieben wurden.

Da der Hafer ja in erheblichem Umfang Sand fangen kann, unterliegen seine Dünen einer schnellen Entwicklung. Sie werden daher das Aussehen zunächst ihrer Standorte und dann - bzw. auch schon teilweise gleichzeitig - das der ostwärts anschließenden Weizengebiete, auf die sie zunehmend vordringen, rasch in ganzer Länge verändern. Im ersten Fall führen sie einen höheren Reifegrad des Entwicklungsstadiums III herbei; im zweiten Fall sorgen sie dafür, daß sich das Stadium zunächst

in seinen frühen Phasen durchsetzt. Der höhere Reifegrad liegt vor, wenn die Haferdünen ihr Volumen so weit vergrößert haben, daß sie ganze Reihen von mehr oder weniger dichtliegenden Dünengruppen bilden. Trotz der teilweise abbauenden Einwirkung der südwestlichen Winde (= Erosionsschneisen) werden diese weitgehend so verlaufen, wie zur Zeit und von Anfang an alle Figuren des Formenschatzes der Plate am stärksten ausgerichtet sind: Der Fließrichtung der transportintensivsten Winde in Verbindung mit der Lage der hauptsächlichen Materialquellen gemäß von W/NW nach O/SO!

Die umfangreiche ostwärtige Ausweitung der Strandhaferdünen ist nur unter der Voraussetzung möglich, daß die Strand-Watt-Verbindungen zwischen den Aufhöhungsgebieten zumindest teilweise geschlossen werden. Die Entwicklung dazu läuft im westlichen Platengebiet ebenso ab wie weiter östlich: Der Vorgang der Wasserbewegung vom Strand direkt wattwärts wird zukünftig auf weniger Vertiefungen beschränkt als bisher; diese bleiben dafür dann allerdings auch noch über lange Zeiträume hin offen. Die übrigen verlieren ihre Funktion als Passagen und werden zu Standorten von Haferdünen.

Die Besiedlung durch diese setzt ein, nachdem die Vertiefungen möglicherweise eine Aufhöhungsphase mit Strandweizen durchlaufen haben. Die Voraussetzung dazu besteht zum Teil schon jetzt, denn mache Passagen haben sich auf der Grundlage von eingewehtem Material und - in ihren wattseitigen bis mittleren Teilen - von sandig-schlickiger Ablagerung deutlich aufgehöht. Sie geraten daher weniger häufig unter Wassereinwirkung als die anderen, vor allem die westlichsten Vertiefungen (Lage der Sohlen dort im Durchschnitt: 1,55 m NN = 0,28 m MThw). Sie befinden sich nämlich der mittleren Position des Durchlasses im Strandwall am nächsten und werden daher am ehesten vom Wasser erreicht. Dieser Umstand drückt sich auch darin aus, daß die Ränder der jeweils benachbarten Aufhöhungsgebiete geglätteter sind, daß also - wie oben in Zusammenhang mit der Vergrößerung der Gebiete auf Veranlassung des expandierenden Strandweizens dargestellt - weniger Dünen bzw. Dünengruppen in sie hineinwachsen als in die Vertiefungen weiter östlich.

Neben der starken ostwärtigen Ausdehnung kommt es zu einer Ausweitung der Haferdünen-Standorte nach SW bis NW in die Übergangszone zwischen ihrem bisherigen Verbreitungsgebiet und dem westlichen Inselteil hinein. Sie läuft jedoch langsamer ab als das Vordringen in Richtung O bis SO, denn:

a. Es handelt sich hierbei um eine ungefähr windaufwärtige Entwicklung (Ausnahme: Dünenbildung bei Ostwindlagen).

b. Da die zu besiedelnde Zone in ihrem östlichen Teil vorerst noch über eine ungünstige Höhenlage verfügt, dringt hierher gelegentlich Wasser durch den Strandwall vor und schränkt die Dünenbildung zumindest auf der Grundlage von Strandhafer ein

Das Zusammenwachsen zwischen Platendünen und westlichem Dünengelände wird daher zunächst in erster Linie von den nordöstlichen Randdünen dieses Geländes aus betrieben, die sich - wie im Zusammenhang mit der Verkleinerung des Verbreitungsgebietes von instabilen Dünen beschrieben wurde - auf breiter Front platenwärts vorschieben: Sie entwickeln sich bei ständiger Materialzufuhr ungefähr parallel oder leicht schräg zur Fließrichtung der vorherrschenden Winde zu Gruppen einzelner, gro-

ßer Akkumulationsgebilde oder zu unregelmäßig dichten, kuppigen Dünenfeldern. In beiden Fällen dürfte die weitere Entwicklung auf einen mehr oder weniger engen Zusammenschluß zu Dünenreihen (endgültige Höhe wie die der derzeitigen ausgereiften NO-Randdünen: 7 bis 9 m über dem Niveau des oberen trockenen Strandes) hinauslaufen. - Die Ausdehnung nach O erfolgt zur Zeit noch sehr rasch, weil der westliche Teil der Übergangszone etwas höher aufragt als der östliche, so daß sich die neuen Dünen vorerst noch keinem ungünstigen Standort anpassen müssen (Abb. 160 u. 161).

Bei der Weiterentwicklung der Haferdünengebiete der Plate spielen sich in absehbarer Zeit ähnliche Vorgänge ab, wie sie eben im Zusammenhang mit der nordost- und ostwärtigen Dünenausbreitung am Rand des alten Dünengeländes geschildert worden sind und wie sie - in dieser oder ähnlicher Form - im Grunde von Jeher für die Dünenbildung auf ganz Spiekeroog charakteristisch gewesen sein dürften: Es entsteht eine zeitlich-räumliche Folge von ausgeprägten wallartigen Dünenreihen!

Abb. 162 — 169 sollen den Ablauf der verhältnismäßig schnellen Entstehung und Entwicklung eines derartigen Walles zu verdeutlichen helfen:

Der Fuß der nördlichen Randdünen des Haferdünenbereichs fällt weitgehend sanft meerwärts in ein deutlich über MThw emporragendes Dünenvorgelände ab, weil hier fast ständig Sand angeweht wird. Aufgrund der sehr günstigen Lage zum Platenstrand und zu den vorherrschenden Winden findet die Zufuhr in großem Umfang statt. Nur bei hohen Flutständen wird der meerwärtige Abschnitt des Dünenfußes vom Wasser erreicht und mit einem Treibzeugsaum versehen. Da dieser ja einen nährstoffgünstigen Standort abgibt und - je nach Art des Treibgutes - in Teilen als Sandfänger und Schattenspender fungiert, stellen sich schnell Spülsaumdünen oder gleich Weizendünen ein.

Auf der Grundlage jener Sandmassen, die in Verbindung mit dem Treibzeug und den frühen Saumdünen niedergeschlagen werden, bildet der Hafer schließlich eine wallartige Dünenreihe. Dieser Wall wächst im Zusammenspiel der Sandzufuhren aus den unterschiedlichen Richtungen rasch in die Höhe, Breite und Länge:

Wind aus W bis NW und NO bis O:

Wind, der nach Überqueren der Strandfläche spitzwinklig bzw. längs zum Wall weht, wirkt auf dessen Aufhöhung und windabwärtige Ausdehnung ein. Je nach Pflanzendichte setzt er dem Kamm sicheldünenartige Anhäufungen auf, die für starken Materialniederschlag sorgen. Die Pflanzen selber bilden vielfach dichtliegende kuppige Anhäufungsgebilde mit einem windabwärts meist leicht ausgezogenem Leeteil.

Wind aus N bis NO:

Wind, der rechtwinklig auftrifft, also direkt vom N-Strand kommt, beeinflußt vor allem die Breite der Wallbasis positiv: Er erweitert den seeseitigen Hang windaufwärts und schlägt Material im Kammlee nieder.

Da die schräg einfallenden bzw. achsenparallelen Winde im Untersuchungsgebiet am häufigsten sind, herrschen in der Wallentwicklung die vertikale Komponente und die Tendenz zur Verlängerung vor. - Daß die sicheldünenartigen Aufsätze und die kuppigen Gebilde nicht ständig mit gleicher Ausrichtung bestehen und daher für einen unruhigen Kammverlauf sorgen, wird zeitweilig von den Winden aus den östlichen Sektoren verhindert. Sie wehen durchweg sehr materialreich vom N- und O-Strand der Plate her und bilden während ihres Auftretens vor allem in den Frühjahrsmonaten die Wallfiguren so um, daß deren Luvhänge vorübergehend ganz oder teilweise zu Leehängen werden und umgekehrt.

Mit zunehmender Höhe gerät die junge Dünenreihe aus dem Schatten des zugehörigen Haferdünengebietes heraus und stärker in den Einflußbereich der südwestlichen Winde, so daß auch diese nachhaltig auf ihre Gestalt einwirken:

> Falls die SW-Winde über genügend Sand verfügen geschieht das in ähnlicher Weise wie durch die östlichen Winde. Je nach Einfallswinkel kehren sie die Hänge mehr oder weniger deutlich ins Gegenteil um. - Da die Winde der südwestlichen Richtungen wesentlich häufiger sind als die östlichen und - was besonders wichtig ist - auch viel öfter mit den westlichen bis nördlichen kurzfristig wechseln, fungieren die einzelnen Wallabschnitte zeitweise alternierend als Luv- und Leezone. Dadurch erfährt die junge Dünenreihe ein verstärktes Höhen- und Breitenwachstum.
>
> Führen die SW-Winde nicht genug Sand heran, erzeugen sie - wie schon bei den Haferdünen-Gruppen im augenblicklichen Entwicklungszustand - Risse, die sich rasch vertiefen. Dem Einfallswinkel der Winde gemäß verlaufen diese gewöhnlich mehr oder weniger schräg zur Wallachse. Das ausgeblasene Material wird im Lee, also auf der Strandseite, angehäuft.
>
> Wenn viele Risse entstehen, können die benachbarten Ausblasungshalden zusammenwachsen und eine neue Dünenreihe anlegen. Ein solcher Vorgang ergibt sich jedoch höchstens in Ansätzen, denn: Die westlichen Winde nehmen das Ausblasungsmaterial immer wieder auf und führen es weitgehend erneut dem Dünenwall zu. Außerdem füllen sich die Risse zumindest teilweise mit frischem Material, so daß der Wall wieder einen verhältnismäßig glatten Außenrand bekommt.
>
> Anders bei den etwas älteren, strandferneren Reihen: Dort erreicht der Ausgleich durch die auflandigen bis strandparallelen Winde einen geringeren Umfang. Diese können hier nämlich nicht so ungehindert wirksam werden wie bei den jungen Reihen auf der Strandseite. Ausblasungsstellen mit leewärts anschließenden Aufschüttungszonen sind daher häufig. - Wenn man von den Einwirkungen auf die Dünenstruktur absieht, die nach der Bildung von Dünenreihen viel geordneter sein dürfte als im gegenwärtigen Entwicklungszustand, bleibt dieser Prozeß jedoch ohne negative Folgen. Im Gegensatz zum zentralen, ältesten Dünengelände ist der Sand hier nämlich noch nährstoffreich genug, um vom Strandhafer erneut gebunden zu werden. Aus dem ausgeblasenen Sand entstehen also wieder stabile Dünen.

Mit dem neuen, wallbestandenen Rand auf der Strandseite der Haferdünengebiete ergibt sich ein neues Dünenvorgelände und damit ein neuer Stand-

Abb. 162

Abb. 163

Abb. 162 bis 169

Bildung und Entwicklung einer wallartigen Dünenreihe auf dem oberen trockenen Strand unmittelbar vor der N-/NNO-Randdüne Spiekeroogs, ständige Materialzufuhr vom N-Strand des alten Inselteils (westliche bis nördliche Winde) bzw. der Ostplate (nördliche bis östliche Winde) - Blick W/NW:

Abb. 162: Voraussetzung der Reihenbildung:WWeitgehend lagestabiler Treibzeugsaum im Vorfeld des Randdünenfußes, von überdurchschnittlich hoher Flut angelegt

Abb. 163: Ausgangsstadium der Reihenbildung: Im Bereich des übersandeten Treibzeugsaumes stellt sich Strandhafer ein

Abb. 164

Abb. 165

Abb. 164: Frühstadium der Reihenbildung: Strandhafer sorgt aufgrund ständiger Materialzufuhr für rasche Aufhöhung des Standortes und erzeugt eine Reihe dichtliegender Dünchen

Abb. 165: Fortgeschrittenes Frühstadium der Reihenbildung: Unter Materialzufuhr längs bzw. leicht schräg zur Wallachse höht Strandhafer rasch seine Dünen auf; ungefähr rechtwinklig auftreffendes Material füllt den Raum zwischen ihnen und Randdünen auf

Abb. 166

Abb. 167

Abb. 166: Zwischenstadium der Reihenbildung: Strandhafer bildet im Bereich des leeseitig niedergeschlagenen Materials kuppige, rasch zusammenwachsende Dünchen und verbreitert dadurch den Wall dauerhaft

Abb. 167: Endstadium der Reihenbildung: Wall ist zur geschlossenen Dünenreihe emporgewachsen; an seinem seeseitigen Hangfuß ist neue Wallbildung zu erwarten

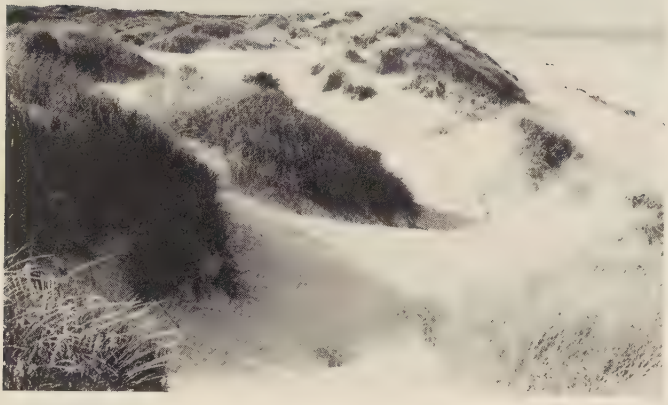


Abb. 168

Abb. 169

Abb. 168: Unter Einwirkung ungefähr rechtwinklig auftreffender Winde (aus S oder N) reißt Dünenreihe stellenweise auf; Sandausblasung in Richtung Strand oder leeseitiger, älterer Dünenreihen (Blick WNW)

Abb. 169: Stellenweise Zerstörung der Dünenreihe nimmt zu: Windrisse erweitern sich, Kupsten entstehen (vgl. 3.2.5.2 u. Abb. 179)

ort für die Spülsäume hoher Fluten. Und das ist dann erneut die Ausgangssituation für Wallbildung. Im Laufe der Zeit wird sich auf diese Weise eine (neue) Dünenreihe vor die (ältere) andere legen und dadurch das weitgehend stabile, überflutungssichere Platengebiet nord- und ostwärts vergrößern.

Die Dünenausweitung in Form von fortlaufender Wallbildung ist auch für fast das ganze westliche Inselgebiet kennzeichnend gewesen. Zum Ausdruck kommt sie heute nur noch in der Dünenstruktur seines nordöstlichen Teils. Dieser wird ganz aus mehr oder weniger ausgeprägten Dünenreihen aufgebaut:

Das Gebiet der Dünenreihen ist insgesamt ungefähr 2 qkm groß und verläuft bogenförmig von N nach SO um das zentrale Dünengelände herum, und zwar in einer Länge von etwa 3 km (einschließlich der wattwärtigen Ausläufer). Es ist in seinem nördlichen, meernächsten Teil, wo die Reihen zunächst noch W-O-orientiert sind, nicht so breit wie weiter im NO; dort hat sich der Dünenverlauf bereits deutlich auf SO ausgerichtet. Seine größte Breite besitzt das Reihengebiet im O in Höhe der Lietz-Schule. Südlich davon laufen die Reihen in den beschriebenen SO-Haken wattwärts aus, wobei sie fast fächerförmig nach WSW bis SO auseinanderstreben.

Zur Reihenhäufigkeit und -höhe:

> Im Dünengebiet über dem Nordstrand sind nur 4 ungestörte Reihen festzustellen (Meßstrecke: von der großen Aussichtsdüne östlich vom Slurpad gut 300 m Luftlinie bis zur jüngsten Randdüne; Abb. 170). Im NO besteht das Reihengebiet aus 7 Wällen (Meßstrecke: vom mittleren Tranpad 600 m Luftlinie nach NO bis zum oberen trockenen Strand der Übergangszone zwischen Spiekeroog und der Ostplate; Abb. 171). Vom Eierschießplatz im SO des alten Inselteils aus sind nach O hin bis ins platenseitige Vorfeld der Dünenzone (Luftlinie etwa 1200 m) 11 voll ausgebildete Reihen zu überqueren.
>
> Die Höhe der einzelnen Abschnitte des Reihengebietes verändert sich umgekehrt zur Breite: Sie nimmt von N (mittlere Dünenhöhe 11 m) nach SO (mittlere Dünenhöhe 9 m) deutlich ab. Die äußersten wattseitigen Ausläufer ragen nur noch wenige Dezimeter über das allgemeine Hellerniveau empor.

Die Veränderung der Breiten- und Höhenverhältnisse hängt vor allem mit der Lage der einzelnen Abschnitte des Reihengürtels zu den verfrachtungsstarken Winden des W-NW-Sektors zusammen. Wo diese im SO - infolge der Schattenwirkung des alten Dünengebietes im Inselzentrum - allmählich an Transportkraft einbüßen, wird der Sand weniger hoch als breit akkumuliert. Das wäre in noch viel stärkerem Umfang der Fall, wenn der Reihenaufbau nicht bei Ostwindlagen von der Plate her durchweg positiv beeinflußt würde.

Das Alter der Dünenreihen läßt sich nur teilweise gut bestimmen. Besonders die jungen, äußeren Züge können zeitlich genau eingeordnet werden. Abb. 100 macht zu ihrer Entstehung einige Angaben. - Ansonsten gilt:
Je näher die Dünenreihen dem Inselzentrum liegen, desto älter sind sie!

Die Alterszunahme kommt in einer teilweise starken Zerstörung der ursprünglichen Form zum Ausdruck. Obwohl auch die mittleren und äußeren Züge keineswegs auf ganzer Länge als geschlossene Ketten erhalten sind, weisen sie doch längst nicht so viele Bruchstellen und Umlagerungszonen wie die innersten Reihen auf. Aber selbst deren Alter kann höchstens 200 bis 250 Jahre betragen, denn: Auf der HORSTschen Karte (1738, Abb. 71) sind sie noch nicht verzeichnet.

Die insgesamt noch verhältnismäßig hohe Formkonstanz der Reihen bei geringem Alter läßt Schlüsse auf die Entstehungszeit der Dünen im mittleren Teil des Spiekerooger Dünengeländes zu. Dort sind zwar auch vereinzelte Züge oder Reste von Zügen festzustellen; die weitaus meisten Dünen scheinen jedoch völlig regellos angelegt worden zu sein. Daß diese Strukturlosigkeit keineswegs von Anfang an bestanden hat, sondern als Folge von einmaligen oder häufigen Zerstörungs- bzw. Umlagerungsvorgängen während späterer Zeiten anzusprechen ist, weist auf ein hohes Alter hin.

Einige Dünen und Dünenkomplexe lassen vermuten, wann sie ihre heutige Gestalt erhalten haben und teilweise auch, wie ihre Entwicklung bis dahin abgelaufen sein muß. Wo, wann und wie lange jedoch die überwiegende Zahl der anderen Dünen als Teile von Reihen oder anderen regelmäßigen Gruppierungen bestanden hat, läßt sich nur generell sagen: Dieser Zustand fällt in die Zeit vor 1738. Die HORSTsche Karte verzeichnet nämlich im Verbreitungsgebiet der fraglichen Dünen keine Reihen. Selbst wenn man unterstellt, daß HORST - was aber durch seine sonstige Sorgfalt (Darstellung des Lütjeoog, der unbefestigten "Kobbe"-Dünen, der Dünendurchbrüche, der verschiedenen Hellerzustände usw.) im Grunde widerlegt ist - die Dünenstruktur falsch registriert hat, dürfte im ganzen kein wesentlich jüngerer Zeitraum in Frage kommen.

Die Dünenausweitung in Form wallartiger Reihen wird am NO-Rand des westlichen Inselgebietes bis zur Vereinigung der Dünengelände beider Inselteile, d. h. bis zur Schließung der Übergangszone zwischen ihnen (= spätestens zu Beginn des nächsten Jahrhunderts?) weitergehen. Danach werden nur noch a) der dann gemeinsame Nordrand des Gesamtgeländes in ganzer Länge sowie b) dessen junger NO auf der mittleren und schließlich auf der östlichen Ostplate für eine derartige Dünenanordnung in Frage kommen.

3.2.5.2 Zu den Dünen des zukünftigen Düneninselstadiums IV

Bis zum Zeitpunkt der endgültigen Vereinigung beider Inselteile auf ganzer Breite, also nicht nur - wie bereits im Augenblick - in Gestalt stark ostwärtiger Hellerausdehnung auf der Wattseite und ansatzweiser Weizendünen-Zusammenschlüsse auf der Seeseite, wird sich das Aussehen des Dünengebietes der Plate erheblich verändern. Es entwickelt sich so, daß es dem heutigen Zustand auch der alten Teile des westlichen Dünengeländes in vieler Hinsicht entspricht. Damit ist aber nicht nur gemeint, daß sich wallartige Dünenreihen bilden. Bedeutsamer für die weitere Entwicklung sind Veränderungen im Pflanzenbesatz:

Der Strandhafer macht in den mittleren und südlichen Abschnitten seiner Dünenzone der Folgevegetation (Silbergrasflur, Straußgrasrasen, Krähenbeerenheide) Platz und führt damit das Düneninselstadium IV herbei. Das geschieht, indem er zuerst gleichzeitig mit der Folgevegetation auftritt und eine "Mischvegetation" bildet. Diese ist zwar nicht in der Lage, die Dünen so rasch weiter zu vergrößern, wie das unter Einwirkung allein des Hafers geschieht; die "Mischvegetation" setzt den Dünenaufbau jedoch grundsätzlich fort.

Später verringert sich der Haferanteil nach und nach, um schließlich ganz zu verschwinden. Eine derartige Entwicklung ergibt sich, wenn der Auslaugungsgrad des Dünensandes ein bestimmtes Maß überschreitet und - da die inzwischen stark aufgehöhten, seewärts vorgelagerten Dünenreihen die Materialzufuhr erheblich einschränken - frischer Sand weitgehend ausbleibt.

Die ursprünglichen Haferdünen verändern sich jetzt nicht mehr im Sinne einer weiteren Aufhöhung, Verbreiterung oder Ausdehnung. Sie verharren jedoch auch nicht in einem konstanten Zustand, sondern treten nun teilweise in eine Phase von Umbauvorgängen ein. Ihre Vegetationsdecke ist nämlich - aus einer Reihe von Gründen (dazu: HEYKENA, 1965) - leicht verletzbar. Sie wird von Regen, Menschen und Tieren ständig gefährdet und kann den angehäuften Sand daher längst nicht so gut vor Windeinwirkung schützen wie der Hafer.

Die Umbauphase erweist sich hier als folgenschwerer als jene, die sich im Bereich der Dünenreihen des Strandhafers einstellt und oben erwähnt wurde:

Selbst wenn die Vegetationsdecke nur leicht zerstört wird, bilden sich meistens sofort rundliche Auswehzonen. Sie nehmen immer mehr an Umfang zu. Diese Entwicklung kann sich unter stetiger Windeinwirkung über viele Jahre hinziehen. Die Aushöhlung geht zunächst im Dünenzentrum oder am windexponierten Hang in die Tiefe (Abb. 172 u. 173) und dann in die Breite und macht aus den betroffenen Dünen schließlich Antidünen. Dabei handelt es sich häufig um Ausblasungsmulden, die so groß werden, daß sie zuletzt das gesamte Zentrum der ursprünglichen Gebilde einnehmen. - Über die Entstehung von Windmulden und ihre Entwicklung informiert sehr gut VAN DIEREN (1934).

Häufigkeit, Ausrichtung und Größe der Spiekerooger Windmulden hängen weitgehend von der Exposition der Standorte ab:

> Am stärksten ist der Dünenabbau im NW bis W. Hier sind die ursprünglichen Dünenstrukturen völlig verändert worden. Unzählige Mulden unterschiedlicher Größe bestimmen das Aussehen der Dünlandschaft. Durchmesser von 10, aber auch von 15 und mehr Metern und Tiefen von über 10 Metern sind keine Seltenheit. Am häufigsten treten Mulden mit einer Öffnung gegen die W- und SW-Winde auf. Im nördlichen Teil des Verbreitungsgebietes finden sich vornehmlich solche, die eine Einwirkung von W- und NW-Winden erkennen lassen. Zahlreiche Mulden zeigen eine Gestaltung durch Winde aus beiden westlichen Sektoren. Mulden durch Einwirkung östlicher Winde sind selten; sie treten in größerer Anzahl nur im Ostteil des Dünengeländes auf.

Den Antidünen schließen sich gewöhnlich Akkumulationszonen in Form von

Haldendünen an. In ihnen findet das ausgewehte Material weitgehend Niederschlag. Die Halden sind daher umso mächtiger, je größer das Ausmaß der zugehörigen Mulde ist (Abb. 174). Es entstehen durch Umlagerungen also 3-Faktoren-Dünen; im Gegensatz zu den Anhäufungsarten des Strandes und des strandnahen Dünenbereichs fungiert dabei Dünensand als 3. Faktor. Die Haldendünen setzen am oberen, windabwärtigen Rand der Mulden an und ragen steil auf. Die Sandanhäufung findet auf dem Dünengipfel und - in einer oft weiten Streuzone - auf dessen leeseitigen Hängen statt.

Wenn ganze Dünenreihen in Längsrichtung der Muldenbildung unterliegen, wenn also der aushöhlende Wind - wie bei Schaffung der Reihen - ungefähr parallel zur Reihenachse streicht, entsteht ein System aus Antidünen und Halden. Es behält teilweise den Verlauf und weitgehend auch das Volumen der ursprünglichen Reihen bei (Abb. 175). Wirkt schräg oder rechtwinklig auftreffender Wind muldenbildend, so dehnen sich die Halden in die Längstäler zwischen den Dünenreihen aus und stellen damit oft eine Verbindung zur nächsten, jüngeren oder älteren Reihe her.

Da beide Bildungsarten nur selten in reiner Form erfolgen, weil die Windrichtung nicht konstant bleibt, kommen häufig genetisch ziemlich unübersichtliche Verbände aus Antidünen und Halden sowie nicht umgebauten Teilen von Dünenreihen zustande (Abb. 176 u. 177). Das ist besonders im Bereich der ältesten Dünenzone der Fall, zumal hier - anders als im strandnäheren Bildungsgebiet - die Umbauformen nur sehr schwer zu einigermaßen stabilen neuen Dünen werden können: Ihr Sand ist ja zu ausgelaugt, um für den Strandhafer die geeignete Vegetationsbasis abzugeben. Er kann also nicht, wie sonst häufig, auf den Haldengipfeln und besonders in den Streuzonen für die erneute Materialbindung sorgen.

Bei der ältesten, genetisch unübersichtlichsten Zone handelt es sich um das dorfnahe Dünengelände sowie jenes Gebiet mit verwirrender Formenvielfalt, das sich ihm nach NW bis zum Dünenkliff des NW-Strandes anschließt. Es ist mehr als 2 qkm groß und wird im N und noch deutlicher im O von den beschriebenen Dünenreihen begrenzt. Im S geht es in den Heller über. Daß hier tatsächlich ein Übergang vorliegt und keine überall glatte Grenze, hat folgenden Grund:

Als hellernahe Dünen im Laufe ihrer Entwicklung in Abbruch geraten, wird ein erheblicher Teil ihres Materials wattwärts verfrachtet und führt - in gewisser Weise den SW- und SO-Haken vergleichbar - im Heller zu Aufhöhung. Je nach Herkunft der abbauenden Winde und dem Grad ihres Zusammenwirkens erfolgt diese flächenhaft oder mehr punktförmig. Soweit die Verluste in der Ausblasungszone nicht durch Material aus meerwärtigeren Dünenumlagerungen oder -zerstörungen ausgeglichen werden kann, bleiben im hellernahen Dünengebiet verhältnismäßig offene Partien erhalten. Ein Beispiel dafür ist der Eierschließplatz im OSO des Dorfes; er verdankt seine Entstehung weitgehend dem hellerwärtigen Sandversatz (Abb. 178).

Ähnliche, allerdings weniger ausgeprägte Ausblasungsflächen finden sich auch innerhalb des übrigen alten Dünengeländes. Das Material ihrer ursprünglichen Akkumulationsgebilde ist aber durchweg nicht so weit verfrachtet worden wie am Hellerrand: Es ist dem Auf- oder Ausbau der umliegenden Dünen zugute gekommen. Das erklärt, warum Ausblasungsflächen meistens von überdurchschnittlich mächtigen Dünen begrenzt werden.

Abb. 170

Abb. 171

Abb. 170: Wallartige, weitgehend parallel ausgerichtete Dünenreihen im N Spiekeroogs (Blick O)

Abb. 171: NO-Blick schräg über das Gebiet der nordöstlichen Dünenreihen Spiekeroogs, vor allem in den strandfernen Abschnitten teilweise überformt

Abb. 172

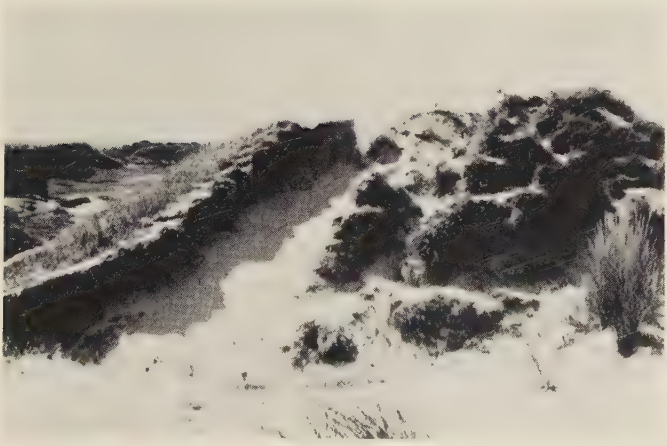


Abb. 173

Abb. 172: Ausgangsstadium der Antidünen-Bildung: Rundliche Windmulde auf einer Dünenkuppe (Dünengelände im NO des Dorfes, Blick O)

Abb. 173: Zerstörte Dünenkuppe mit Windriß senkrecht zum Hang: Rasch voranschreitender Materialentzug (altes Dünengelände im NO des Dorfes)

Abb. 174

Abb. 175

Abb. 174: Ausgeprägte Antidüne mit anschließender Haldendüne, von westlichen Winden erzeugt (Dünengelände im O des Siurpads, Blick ONO)

Abb. 175: Alte Dünenreihe, erheblich durch Bildung von Antidünen in Verbindung mit Haldendünen überformt (altes Dünengelände nordöstlich des Dorfes, Blick OSO)

Abb. 176

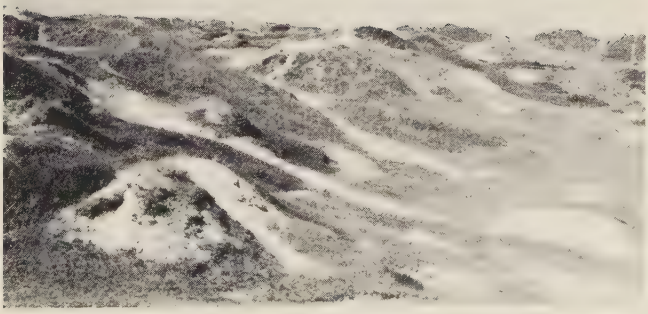


Abb. 177

Abb. 176: Verband aus unregelmäßig angelegten Antidünen und Haldendünen sowie Teilen von nicht umgelagerten Dünenreihen (altes Dünengelände nördlich des Dorfes, Blick O)

Abb. 177: Antidünen und Haldendünen; vorn: weitflächige Sandausblasung zugunsten der benachbarten Dünen (altes Dünengelände nordöstlich des Dorfes, Blick NNO)

Abb. 178

Abb. 179

Abb. 178: Im alten Dünengelände Spiekeroogs sind stellenweise Dünen völlig abgebaut worden; hier: Eierschießplatz im OSO des Dorfes, Ausblasungsmaterial wurde teilweise heierwärts verfrachtet (Blick SO)

Abb. 179: Kleiner Dünenwall schräg zur Längsachse durchschnitten, im Zustand starker Deflation; Mittelgrund: Strandhafer hält Wallreste fest, Kupsten bilden sich (Randgebiet des NO-Dünengeländes, Blick SO)

Wie alt die derzeitigen Mulden- und Haldensysteme sind, ist nicht zweifelsfrei zu sagen. Sie müssen seit vielen Jahrzehnten bestehen. Orientiert man sich an der Entstehung der Reihendünen im NO und O (vgl. 3.2.5.1.4), so kommt man auf ein Alter von mehr als 250 Jahren. Diese Zeitspanne bezieht sich allerdings auf die Dauer des gesamten Umgestaltungsprozesses im mittleren und nordwestlichen Dünengelände Spiekeroogs. Einzelne Mulden und Halden dürften in ihrer derzeitigen Form jünger sein. Daß jedoch von der Mitte der ersten Jahrhunderthälfte an keine nennenswerten Weiter- oder gar Neubildungen erfolgt sind, beweisen Luftbildvergleiche (Aufnahmen von 1938 bis heute).

Um die Aufzählung der Glieder des Dünen-Formenschatzes zu vervollständigen, der eines Tages im Bereich des fortentwickelten Dünengebietes der Ostplate vorliegen wird, ist noch auf zwei Restformen hinzuweisen. Dabei handelt es sich um die Strichdünen und die Kupsten. Beide kommen zustande, indem Pflanzen bestimmte Teile solcher Dünen am ursprünglichen Standort festhalten, die in völligen Abbau geraten:

Strichdünen entstehen, wenn

a. das Material aus Antidünen nicht zu Haldendünen umgelagert wird, sondern - was bei isoliertem Dünenauftreten häufig der Fall ist - zur windabwärtigen Verfrachtung kommt, oder

b. Haldendünen zerblasen werden, weil die neue Begrünung nicht zur dauerhaften Sandfixierung ausreicht.

Es bleiben in beiden Fällen keine geschlossenen, mehr oder weniger runden Antidünen bestehen, sondern nur deren seitliche Abschnitte: Die windauf- und windabwärtige Teil werden nämlich aufgerissen und mit dem Sand, der eigentlich die Haldendünen ergeben sollte bzw. bei ihrer späteren Zerstörung verlorengeht, fortgeschafft. Da die restlichen Flanken der Windmulden längs zum angreifenden Wind liegen, entgehen sie weitgehend dem Abbruch. Außerdem sorgt die windaufwärts unzerstörte Pflanzendecke aus Gräsern, Heide, Moosen und/oder Flechten für eine gewisse Stabilität.

Der Pflanzendecke entspricht bei den Kupsten eine einzige große Pflanze oder ein Pflanzenhorst. Diese Restdünen haben daher - im Gegensatz zu den Strichdünen - eine mehr hohe als breite Form. Da sie auch als Deflationsreste von zerstörten Strandhaferdünen auftreten (Abb. 179), können sie bei erneuter Materialzufuhr durch aufbauenden Wind den Grundstock für neue, dauerhafte Dünen abgeben.

3.3 Zusammenfassende Aufstellung:

Die "Düneninsel"-Entwicklung der Ostplate und die Spiekerooger Dünenarten

Anhand

a. der dargestellten Bildung und Veränderung des Ostplate-Formenschatzes vom Zustand der "reifen Strandinsel" bis zum gegenwärtigen Stadium und

b. des Ausblicks auf das Aussehen der Ostplate in absehbarer Zeit

läßt sich - zusammengefaßt - nachfolgender Ablauf der Düneninsel-Entwicklung geben. Damit erfolgt gleichzeitig eine Zusammenstellung der Spiekerooger Dünenarten.

Diese sind nach den Faktoren eingeteilt, die für ihren Aufbau bzw. ihren Um- oder Abbau sorgen. Dadurch soll zur Begriffsklärung beigetragen werden.

> So rechnen z. B. die Strandweizendünen, die in der Literatur entweder als Primärdünen (REINKE, 1909), Embryonaldünen (BRAUN, 1911), Urdünen (ISBARY, 1936), Vordünen, Jungdünen oder frühe Weißdünen bezeichnet sind, zur Gruppe "3-Faktoren-Dünen A" (Faktoren: 1. Sand, 2. Wind, 3. Pflanzen). Das zugesetzte A will vermeiden, daß sich Verwechslungen mit den physikalischen 3-Faktoren-Dünen (3. Faktor: Hindernis) und besonders solche mit der zweiten Gruppe organogener 3-Faktoren-Dünen (1. Faktor: alter, ausgelaugter Dünensand) ergeben.

Der Entwicklungsgang, wie er für die Ostplate gefunden wurde und in den angegebenen Stadien zum Ausdruck kommt, hat auch für den westlichen Inselteil und die anderen Glieder der ostfriesischen Inselkette weitgehend Gültigkeit. Sie sind nämlich auf ihrem Weg von "reifen" Strandinseln zu "reifen" Düneninseln von den gleichen Kräften wie die Ostplate gestaltet worden, und zwar sowohl hinsichtlich der Einzelwirkung als auch hinsichtlich des Zusammenspiels dieser Kräfte. Das gilt auch für die Liste der Dünenarten: Von Unterschieden in der Häufigkeit und im Entwicklungsgrad abgesehen, repräsentieren die genannten Auf-, Um- bzw. Abbauformen bei allen ostfriesischen Inseln gleichermaßen den Formenschatz des jeweiligen Entwicklungsstadiums.

A. PHYSIKALISCHE BILDUNGEN

I. 2-Faktoren-Dünen

(Faktoren: 1. Sand, 2. Wind)

1. Sandfahnen
2. Zick-Zack-Streifen
3. Barchane

II. 3-Faktoren-Dünen

(Faktoren: 1. Sand, 2. Wind, 3. tote Gegenstände)

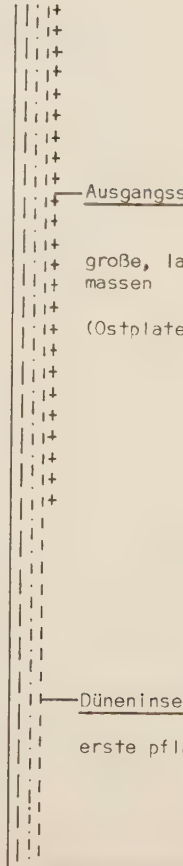
1. Hindernisdünen A
   (isolierte Gegenstände = Einzelgebilde)
2. Hindernisdünen B
   (Gegenstandsverband = Gruppen o. Wälle)

B. ORGANOGENE BILDUNGEN

I. 3-Faktoren-Dünen A

(Faktoren: 1. frischer Sand, 2. Wind, 3. Pflanzen)

Frühformen



Ausgangsstadium

große, lage- und forminstabile Flugsandmassen

(Ostplate teilweise deutlich über MThw)

Düneninselstadium I

erste pflanzenbedingte Aufhöhung

Aufbauformen

Spülsaumpflanzen-Dünen

a. Einzelgebilde
b. Wälle

(Ostplate zunehmend deutlich über MThw)

Vollformen

Düneninselstadium II

1. Strandweizendünen
(teilweise auf der Grundlage der Frühformen)

a. Einzelgebilde
b. Gruppen
c. dichte Verbände (als kuppige Felder)

Emporwachsen mit ausgeprägter horizontaler Komponente auf der Grundlage sandfangender und erstmals dauerhaft bindender Pflanzen

(Ostplate teilweise sturmflutsicher)

2. reine Strandhaferdünen
(weitgehend auf der Grundlage von Weizendünen)

Düneninselstadium III

a. Einzelgebilde
b. Gruppen
c. junge gerade o. gebogene Wälle
(als Vorformen von d.)
d. ältere gerade o. gebogene Wälle (= Dünenreihen)

rasches vertikales Wachstum auf der Grundlage besonders stark sandfangender und dauerhaft bindender Pflanzen

(Sturmflutsicherheit der Ostplate nimmt zu)

3. "Mischvegetation"-Düner
(= Dünen in Verbindung mit Strandhafer + nachfolgenden Vegetationstypen wie Silbergrasflur bzw. Krähenbeerenheide oder nachfolgenden Typen allein; jeweils auf der Grundlage der Strandhafer-Dünenreihen)

Düneninselstadium IV

gerade o. gebogene Reihen

Weitere Aufhöhung vor allem der randlichen Teile u. des Übergangs zum westlichen Inselgebiet

Umbenennung

II. 3-Faktoren-Dünen B

(Faktoren: 1. Dünensand, 2. Wind, 3. Pflanzen)

(Ostplate weitgehend u. endgültig sturmflutsicher)

1. Haldendünen im Anschluß an Antidünen (= Windmulden) (im Strandhaferbereich)
2. Haldendünen im Anschluß an Antidünen (im "Mischdünen"-Bereich)

Zerstörung

III. Reliktdünen

(im Bereich von B, I.2 und I.3)

1. Strichdünen
2. Kupsten

Episodische "Faktoren-Erweiterung"

(= Wasser als zusätzlicher Faktor)

Sie tritt in allen Stadien auf: Je nach Höhenlage ihrer Standorte können

1. physikalische Bildungen (A, I u. II)
2. organogene Frühformen (B, I.)
3. Strandweizendünen (B, I.1) u. junge Strandhaferdünen (B, I.2.a) auf niedrigem Standort
4. ältere Strandhaferdünen (B, I.2.d) o. "Mischdünen" (B, I.3) bei negativer Strandveränderung (= Kliffbildung)

häufig bis gelegentlich vom Wasser direkt mitgestaltet werden; sie sind in solchem Falle als ...

3-Faktoren-Dünen

(physikalische Bildungen, A, I; sonst: 2-Faktoren-Dünen)

4-Faktoren-Dünen

(alle übrigen; sonst: 3-Faktoren-Dünen)

... anzusprechen!

Hilfsmittelverzeichnis

A. Literatur

B. Karten, Kartenwerke und -beschreibungen

C. Luftbilder

A. Literatur:

ABROMEIT, J.: Dünenflora. (in GERHARDT, P.: Handbuch des deutschen Dünenbaues. Berlin 1900. S. 171-278)

AKKERMANN, M.: Bericht über die sedimentologischen Untersuchungen zur Frage der Umlagerung des Sandes. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 4, 1952. S. 47-84)

" Die Umlagerung des Sandes im Seegebiet vor Norderney und auf der Insel. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 7, 1955. S. 11-37)

ANDREE, K.: Bau und Entstehung der Kurischen Nehrung. (Königsberg 1932)

ANDREESEN, A.: Die Sturmflut vom 18. Oktober 1936. (Leben und Arbeit 30, 1937. S. 15-20)

" Die Nordseeinseln wandern. (Ostfreesland 26, 1939. S. 195-200)

ARBEITSGRUPPE NORDERNEY: Gutachtliche Stellungnahme zu den Untersuchungen über die Ursachen der Abbruchserscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney sowie zu den zum Schutze der Insel vorgeschlagenen seebautechnischen Maßnahmen. (Die Küste 1, 1952. S. 27-42)

AREND, B.: General-Beschreibung des Harlingerlandes und Speciale Fürstellung derer Herrlichkeiten Esesns, Stedesdorf und Wittmund, wie auch derer Eylanden Spiekeroog und Langeoog. Danebst Einführung einiger Schribenten dieser Herrlichkeiten. (Oldenburg 1684)

ARENDS, F.: Ostfriesland und Jever, in geographischer, statistischer und besonders landwirtschaftlicher Hinsicht. (3 Bde., Emden und Hannover 1818/1822)

" Erdbeschreibung des Fürstentum Ostfrieslands und des Harlingerlandes. (Emden 1824)

" Physische Geschichte der Nordseeküste und deren Veränderungen durch Sturmfluten seit der cymbrischen Flut bis jetzt. (2 Bde., Emden 1833)

ARNOLD, A. u. BENECKE, W.: Zur Biologie der Strand- und Dünenflora auf Borkum, Juist und dem Memmert. (Planta 23, 1935. S. 662-691)

BAAK, J.: Regional petrology of the southern North Sea. (Diss., Leiden 1936)

BACKHAUS, H.: Die natürliche Entwicklung der ostfriesischen Inseln. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 30, H. 1/2, 1937. S. 285-299)

" Die ostfriesischen Inseln und ihre Entwicklung. (Schr. d. Wirtschaftswiss. Ges. z. Studium Niedersachsens N. F. 12, 1943)

BAGNOLD, R. A.: The physics of blown sand and desert dunes. (London 1954)

BARDELMEIER, E.: siehe KRAMER, J. (1953)

BARTELS: Der Commissionsbericht von 1650 in "Eigentliche Beschreibung der vor dieser Grafschaft zur See hinaus gelegenen Eylanden mit angeheffter Erinnerung". (Jahrb. Ges. f. bildende Kunst u. vaterl. Altertümer z. Emden 4, 1880. S. 35-42)

BARTELS, D.: Die Februarsturmflut 1962 an der deutschen Nordseeküste. (Geogr. Rdsch. 14, 1962. S. 330-333)

BASCHIN, O.: Die Entstehung der Dünen. (Zentralbl. d. Bauverw. 20, 1900. S. 231)

" Dünenstudien. (Z. Ges. f. Erdkde. Berlin, 1903. S. 422-430)

BEHRMANN, W.: Über die niederdeutschen Seebücher des 15. und 16. Jahrhunderts. (Mitt. Geogr. Ges. Hamburg 21, 1906)

" Borkum, Strand- und Dünenstudien. (Meereskde. 13, 1919. S. 1-40)

" Die Ostfriesischen Inseln. (Ann. Hydrogr. 49, 1921. S. 79-93)

" Morphologische Erläuterungen zur Kartenprobe 1 "Küstendünen", Ausschnitt aus dem Blatt Borkum 2306. (Nachr. a. d. Deichvermessungsdienst 18, Nr. 3, 1942. S. 125)

BEILER, A.: siehe SCHRATZ, E. (1937)

BENECKE, W.: Zur Biologie der Strand- und Dünenflora I. (Ber. dt. Bot. Ges. 48, 1930. S. 127-139)

" Zur Biologie der Strand- und Dünenflora II. (Ber. dt. Bot. Ges. 49, 1931. S. 363-381)

" siehe ARNOLD, A. (1935)

BERENBERG, C.: Die Nordsee-Inseln an der deutschen Küste nebst ihren See-Badeanstalten. (Hannover 1865)

BERTRAM, J.: Geographische Beschreibung des Fürstenthums Ostfriesland und angrenzenden Harlingerlandes. (Aurich 1787)

BICKENBACH, K.: Zur Anatomie und Physiologie einiger Strand- und Dünenpflanzen. (Beitr. Biol. d. Pflanzen 19, 1932. S. 334-370)

BIELEFELD, R.: Ostfriesland. (Aurich 1924)

BINTING, P.: siehe BULLIG, H. (1954)

" siehe MARKGRAF, H. (1954)

BIRD, E. C.: Coasts. (Cambridge 1969)

BLÜTHGEN, J.: Dänische Vorlandstudien. (Die Erde 1, 1949/50. S. 309-333)

BLÜTHGEN, J.: Greifswalder Oie und Ruden. (Peterm. Geogr. Mitt. Erg.-H. 248, 1952)

" Allgemeine Klimageographie. (Berlin 1964)

BÖHNECKE, G.: Salzgehalt und Strömungen der Nordsee. (Veröff. Inst. f. Meereskde. Berlin N. F. A., H. 10, 1922. S. 1-34)

BORGGREVE, E.: Über die Entstehung und Veränderung der Dünen, insbesondere an den deutschen Nordseeküsten. (Verh. naturhist. Ver. d. preuß. Rheinlande u. Westfalens 32, 4. Flg. Correspondenzblatt 1, Bonn 1875. S. 69-72)

BRAND, G.: Sedimentpetrographische Untersuchungen zum Erkennen der Sandwanderungsvorgänge am Strand, im Flachwasser und dem daran anschließenden Seegebiet. (Meyniana. Veröff. Geol. Inst. Kiel 4, 1955. S. 84-111)

BRAUN, G.: Entwicklungsgeschichtliche Studien an europäischen Flachlandsküsten und ihren Dünen. (Veröff. Inst. f. Meereskde. Berlin 15, 1911. S. 1-174)

BREDOW, E.: Das Watt in der Topographischen Karte. (Kartograph. Nachr. 2, 1953. S. 7-9)

BROCKMANN, C.: Diatomeen und Schlick im Jadegebiet. (Abh. Senckenberg. Naturf. Ges. 430, 1935. S. 1-64)

" Küstennahe und küstenferne Sedimente in der Nordsee. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 30, 1937. S. 78)

BRÜGMANN, E.: Chronik der Insel Spiekeroog. (Spiekeroog 1892)

BRUNS, E.: Handbuch der Wellen der Meere und Ozeane. (Berlin 1953)

BUCHENAU, F.: Zur Flora von Spiekeroog. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 5, 1877. S. 523-524)

" Die Pflanzenwelt der ostfriesischen Inseln. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 11, 1889. S. 245-264)

" Flora der Ostfriesischen Inseln. (Leipzig 1901)

BULLIG, H. u. BINTING, P.: Temperatur des Oberflächenwassers und Temperatur-Differenz Luft-Wasser. (Einzelveröff. d. Dt. Wetterdienstes, Seewetteramt Hamburg, 4, Teil 1, 1954. S. 1-25)

DAMMANN, W.: Klimatologie der Nordseeküste unter dem Gesichtspunkt der Berücksichtigung verschiedener Witterungsabschnitte. (Med.-meteorol. Hefte 1, 1949. S. 13-18)

DAVIES, J. L.: Wave refraction and the evolution of shore-line curves. (Geogr. Studies 5, 1958. S. 1-14)

DECHEND, W.: Zur Frage der Sandwanderung vor der ostfriesischen Inselküste. (Bautechnik 26, 1949. S. 201-204)

" Sedimentpetrologische Untersuchungen zur Frage der Sandumlage-

rung im Watt Nordfrieslands. (Dt. Hydrogr. Z. 3, 1950. S. 294-303)

" Die erdgeschichtliche Entwicklung im Raum um Norderney. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 3, 1951. S. 1-12)

" Eustatische und tektonische Einflüsse im Quartär der südlichen Nordseeküste. (Geolog. Jahrb. 68, 1954. S. 501-516)

" Der Ablauf der holozänen Nordsee-Transgression im oldenburgisch-ostfriesischen Raum, insbesondere im Gebiet von Jever i. O. (Geolog. Jahrb. 72, 1956. S. 295-314)

" Eine Gliederung des Holozäns an der südlichen Nordseeküste (Z. Dt. Geolog. Ges. 112, 1961. S. 524-525)

" u. GRONWALD, W.: Krustenbewegung und Meeresspiegelschwankungen im Küstenbereich der südlichen Nordsee. (Geolog. Jahrb. 79, 1961. S. 23-60)

" u. RICHTER, K.: Geologische Untersuchungen zur Frage der Materialumlagerung im Norderneyer Seegat. (Forschungsstelle Norderney, Arbeiten 1, 1953)

DEFANT, A.: Die Gezeiten der Nordsee. (Ann. Hydrogr. H. 8, 1923. S. 177)

" Ebbe und Flut des Meeres, der Atmosphäre und der Erdfeste. (Berlin 1953)

DEWERS, F.: Das Alluvium. (in DEWERS, F./ GRIPP, K./ OVERBECK, F.: Das Känozoikum in Niedersachsen, Schr. d. Wirtschaftswiss. Ges. z. Studium Niedersachsens N. F. 3, 1941. S. 268-454)

DIECKMANN, A.: Die Niederschlagsverhältnisse der Deutschen Nordseeinseln I. (Ber. d. Strahl.-Klimatolog. Stationsnetzes i. Dt. Nordseegeb. 2, 1928. S. 56-60)

DIENEMANN, W. u. SCHARF, W.: Zur Frage der neuzeitlichen "Küstensenkung" an der deutschen Nordseeküste. (Jahrb. d. Preuß. Geolog. Landesanstalt 52, 1931. S. 317-390)

DIEREN, J. W. VAN: Organogene Dünenbildung. (Den Haag 1934)

DIETRICH, G.: Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. (Kieler Meeresforschungen 7, 1950. S. 35-69)

" Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen des Meeres am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg. (Die Küste 2, 1954. S. 130-156)

" Ergebnisse synoptischer ozeanographischer Arbeiten in der Nordsee. (Verhandl. d. Deutschen Geographentages 30, Wiesbaden 1957. S. 376-383)

" u. KALLE, K.: Allgemeine Meereskunde. (Berlin 1957)

DIRCKSEN, R.: Das Wattenmeer, Landschaft ewigen Wandels. (München 1959)

DIRCKSEN, R.: Die Grüne Insel Spiekeroog. (Herford 1963)

DITTMER, E.: Der Mensch als geologischer Faktor an der Nordseeküste. (Eiszeitalter u. Gegenwart 5, 1954)

" Neue Beobachtungen und kritische Bemerkungen zur Frage der "Küstensenkung". (Die Küste 8, 1960. S. 29-44)

DODEN, J.: Die Strandung des Auswandererschiffes "Johanne" (Capitain Oldejans) auf dem Spiekerooger Strande am Montage, dem 6. November 1854. (Ostfriesisches Monatsbl. f. provinz. Interessen 7, 1879. S. 241-252)

DOMKE, W.: siehe WIEMANN, P. (1967)

DÜCKER, H.: Eine Schule sichert ihr Land. (in: Ostfriesische Inseln. Merian 10, H. 3, 1957. S. 65-67)

EHRHARDT, A.: Das Watt. (Hamburg 1937)

ELLENBERG, H.: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in kausaler, dynamischer und historischer Sicht. (Stuttgart 1963)

EMEIS, W.: Studien über das Zusammenwirken von Flugsand und Heidevegetation in den Amrumer Dünen. Festschrift für Willi Christiansen. (Mitt. d. Arbeitsgemein. f. Floristik i. Schlesw.-Holst. u. Hamburg 5, 1955. S. 34-43)

EVANS, O. F.: Masstransport of sediments on subaqueous terraces. (Journ. of Geol. 47, 1939. S. 325-334)

EXNER, F. M.: Zur Physik der Dünen. (Sitz-Ber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. IIa, 129, 1920)

FOCKE, W.: Beiträge zur Kenntnis der ostfriesischen Inseln. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 3, 1873. S. 305-323)

" Die Vegetation der Dünen und des Strandes von Wangerooge. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 19, 1909. S. 509-519)

FREESE, J. C.: Ostfrieß- und Harrlingerland nach geographischen, topographischen, physischen, ökonomischen, statistischen, politischen und geschichtlichen Verhältnissen. (Aurich 1796)

FRIEDLAENDER, E.: Ostfriesisches Urkundenbuch I. (Emden 1878)

FÜLSCHER: Die Entwicklung der ostfriesischen Küste in geschichtlicher Zeit. (Berlin 1905)

" Über Schutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. (Berlin 1905)

GALBAS, P.: Klimatographie der Nordsee. (Ber. d. Strahl.-Klimatolog. Stationsnetzes i. Dt. Nordseegeb. 1, 1928. S. 13-30)

GAYE, J.: Entwicklung und Erhaltung der ostfriesischen Inseln. (Zentralbl. Bauverwaltung 55, 1934. S. 293-300)

" Wasserstandsänderungen in der Nordsee. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 33, 1952. S. 143-152)

" Die deutsche Küstenforschung und der Seewasserbau. (Die Küste 3, 1954. S. 13-17)

" u. WALTHER, F.: Untersuchung der Sandwanderung vor den ostfriesischen Inseln. (Norderney 1933/36. Mskr.)

" u. WALTHER, F.: Die Wanderung der Sandriffe vor den ostfriesischen Inseln. (Die Bautechnik 13, 1935. S. 555-567)

GELLERT, J.: Das Nordseewatt. (Z. f. d. Erdkundeunterr. 3, 1951. S. 471-472)

" Das Außenelbwatt zwischen Cuxhaven-Duhnen und Scharhörn. (Peterm. Geogr. Mitt. 96, 1952. S. 103-109)

GERHARDT, P.: Handbuch des deutschen Dünenbaues. (Berlin 1900)

GESSNER, F.: Meer und Strand. (Berlin 1957)

GIERLOFF-EMDEN, H.: Luftbild und Küstengeographie am Beispiel der deutschen Nordseeküste. (Schriftenfolge Inst. f. Landeskde. i. d. Bundesanst. f. Landeskde. u. Raumforschg.; Landeskdl. Luftbildauswertung i. mitteleurop. Raum 4, Bad Godesberg 1961)

" Nehrungen und Lagunen. (Peterm. Geogr. Mitt. 105, 1961. S. 81-92 u. S. 161-176)

GITTERMANN, P.: Geographie von Ostfriesland. (Emden 1842)

GOEDECKE, E.: Zur klimatischen Verlängerung der Badesaison an der deutschen Nordseeküste. (Med.-meteorol. Hefte 9, 1954)

GOTTFRIED, H.: siehe THILO, R. (1955)

GRAEBNER, P.: Pflanzenleben auf den Dünen. (in SOLGER, F.: Dünenbuch. 1910. S. 183-298)

GRIPP, K.: Die Entstehung der Nordsee. (in: Werdendes Land am Meer. Das Meer in volkstümlicher Darstellung, 5. Bd., Berlin 1937. S. 1-41)

" Entstehung und künftige Entwicklung der Deutschen Bucht. (Arch. Dt. Seewarte 63, 1944)

" Die heutige Nordsee und ihre zwei eiszeitlichen Vorgänger, ein erdgeschichtlicher Vergleich. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 33, 1952. S. 5-18)

" Das Watt. Begriff, Begrenzung und fossile Vorkommen. (Senckenbergiana 37, 1956. S. 149-181)

" Über Werden und Vergehen von Barchanen an der Nordseeküste Schleswig-Holsteins. (Z. f. Geomorph. N. F. 5, 1961. S. 24-36)

" Flugsand, Dünen, Vorgeschichte. (Fundamenta 2, Teil 2, 1967. S. 228-243)

GRIPP, K.: Zur jüngsten Erdgeschichte von Hörnum/Sylt und Amrum mit einer Übersicht über die Entstehung der Dünen in Nordfriesland. (Die Küste 16, 1968. S. 76-117)

GROHNE, U.: Zur Entwicklungsgeschichte des ostfriesischen Küstengebietes auf Grund botanischer Untersuchungen. (Probl. d. Küstenforschg. i. Geb. d. südl. Nordsee 6, 1957. S. 1-48)

GRONWALD, W.: siehe DECHEND, W. (1962)

GROSSE, B.: Die Erodierbarkeit von Böden durch Wind. (Geolog. Jahrb. 71, 1956. S. 527-530)

GUILCHER, A.: Morphologie littorale et sous-marine. (Paris 1954)

" Coastal and submarine morphology. (London 1958)

HAARNAGEL, W.: siehe PASSARGE, S. (1934)

" Das Alluvium an der deutschen Nordseeküste. (Schriftenr. d. Niedersächs. Landesstelle f. Marschen- u. Wurtenforschg. = Probleme d. Küstenforschg. i. Geb. d. südl. Nordsee 4, 1950. S. 1-146)

HAAS, H.: Deutsche Nordseeküste. (Monographie zur Erdkunde 8, Leipzig 1900)

HÄNTZSCHEL, W.: Brandungswälle, Rippel und Fließfiguren am Strande von Wangeroog. (Natur u. Volk 69, 1939. S. 40-48)

HAGEL, J.: Sturmfluten. (Kosmos-Bibliothek 236. Stuttgart 1962)

HANNEMANN, M.: Die Entstehung und Umbildung von Nehrungen und verwandten Küsten. (Geogr. Z. 34, 1928. S. 270-289)

HANSEN, W.: Die Vegetation der Ostfriesischen Inseln. (Darmstadt 1901)

" Triftstrom und Windstau. (Dt. Hydrogr. Z. 3, 1950. S. 303)

" Der Einfluß der Tiefenverteilung auf die Gezeiten. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 33, H. 1, 1952)

" Einfluß der Strömungen und Wasserstände in der Deutschen Bucht auf die Küstengestalt. (Verhandl. d. Deutschen Geographentages 30, Wiesbaden 1957. S. 346-350)

HARTUNG, W.: Wangeroog, wie es wurde, war und ist. (Oldenburg 1951)

" Mellum - werdende Insel unter den Kräften des Meeres. (Mitt. Bremer Naturschutz-Ges. 1954)

" Inseln unter den Kräften des Meeres. Wangerooge und Norderney in der Kette der Ostfriesischen Inseln. (Geogr. Rdsch. 10, 1958. S. 187-193)

" Geologische Forschung im nordwestdeutschen Küstenraum. (Oldenb. Jahrb. 58, 1959. S. 129-137)

" Das Problem der sog. Küstensenkung. (Oldenb. Jahrb. 63, 1964.

S. 131-153)

" Das Gebiet zwischen Jade und Weser im Wandel der jüngsten Erdgeschichte. (Die Weser 41, 1967. S. 1-4)

HASBARGEN, L.: Die Ostfriesischen Inseln. Ein Beitrag zur Wirtschaftsgeographie eines Fremdenverkehrsgebietes. (Forschg. z. dt. Landeskde. 141, Bad Godesberg 1963)

HERQUET, K.: Miscellen zur Geschichte Ostfrieslands. (Norden 1883)

HERRMANN, F.: Über den physikalischen und chemischen Aufbau von Marschböden und Watten verschiedenen Alters. (Westküste 3, 1943. S. 72-119)

HEYKENA, W.: Vegetationstypen der Küstendünen an der östlichen und und südlichen Nordsee. (Mitt. d. Arbeitsgemein. f. Floristik i. Schlesw.-Holst. u. Hamburg 13, 1965)

HOELPER, O.: Beitrag zur Klimatologie der Insel Borkum. (Ber. d. Strahl.-Klimatolog. Stationsnetzes i. Dt. Nordseegeb. 2, 1928. S. 64-73)

HOFFMEISTER, J.: Das Klima Niedersachsens. (Schr. d. Wirtschaftswiss. Ges. z. Studium Niedersachsens. Reihe B, H. 6, 1930)

" Die Klimakreise Niedersachsens. (Schr. d. Wirtschaftswiss. Ges. z. Studium Niedersachsens. Reihe B, H. 16, 1937)

HOMANN, H.: Ostfriesland - Inseln, Watt und Küstenland. (Münster 1969)

HOMEIER, H.: Veränderungen des Langeooger Watts im Zeitraum 1938/1953. (Forschungsstelle Norderney. Jahreber. 5, 1953. S. 15-18)

" Untersuchungen der Veränderungen des Juister Wattes. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 10, 1958. S. 13-25)

" Die morphologische Entwicklung der ostfriesischen Küste zwischen Bensersiel und Neuharlingersiel. (Forschungsstelle Norderney. Jahresbericht 10, 1958. S. 51-60)

" Die morphologische Entwicklung der Insel Spiekeroog und die Auswirkungen der Strandschutzwerke. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 12, 1960. S. 49-79)

" Historisch-morphologische Untersuchungen der Forschungsstelle Norderney über langfristige Gestaltungsvorgänge im Bereich der niedersächsischen Küste. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 16, 1964. S. 7-40)

" Der Gestaltwandel der ostfriesischen Küste im Laufe der Jahrhunderte. (In OHLING, J.: Ostfriesland im Schutze des Deiches, 2. Bd., Pewsum 1969. S. 3-78)

" u. KRAMER, J.: Verlagerung der Platen im Riffbogen vor Norderney und ihre Anlandung an den Strand. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 8, 1956. S. 37-59)

HOUTROUW, O. G.: Ostfriesland - Eine geschichtlich-ortskundige Wanderung gegen Ende der Fürstenzeit. (2 Bde., Aurich 1889/1891)

HÜLSMANN, J.: Großrippeln und Schrägschichtungs-Gefüge im Nordseewatt und in der oberschwäbischen Molasse. (Senckenbergiana 36, 1955. S. 359-388)

HYDROGR. INST., DT.: Nordsee-Handbuch. Östlicher Teil, von Hanstholm bis Terschelling. (Hamburg 1958)

ILLIES, H.: Die Schrägschichtung in fluviatilen und litoralen Sedimenten, ihre Ursachen, Messungen und Auswertung. (Mitt. Geolog. Staatsinst. Hamburg 19, 1949. S. 89-109)

ISBARY, G.: Das Inselgebiet von Ameland bis Rottumeroog. Morphologische und hydrographische Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der friesischen Inseln. (Arch. Dt. Seewarte 56, H. 3, 1936. S. 9-55)

JÄGER, H.: Methodisches Handbuch für Heimatforschung in Niedersachsen. (Hildesheim 1965)

JANSSEN, A. u. LORSIEN, W.: Die Nordseeinseln. (Leipzig 1925)

JANSSEN, L.: Spiekeroog de Krone. (Aurich 1968)

JANSSEN, T.: Über die Kräfte, die die ostfriesischen Inseln, insbesondere den östlichen Sandstrand der Insel Spiekeroog, gestalten. (Diss. Schweidnitz 1933)

" Die neuere Entwicklung des Gebietes vor Borkum. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 30, 1937. S. 253)

" Ursprung der ostfriesischen Inseln. (Ostfreesland 33, 1950. S. 42-45)

" Die ostfriesischen Watten als Verkehrs- und Wirtschaftsgebiet. (Norden 1954)

(Hrsg.): Die Sturmflut am 16. Februar 1962 im Bereich der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Aurich. (Aurich 1962)

" (Hrsg.): Gewässerkunde Ostfrieslands. (Aurich 1967)

JARKE, J.: Neue Ergebnisse zur Bodenbedeckung der Deutschen Bucht. (Verhandl. d. Deutschen Geographentages 30, Wiesbaden 1957. S. 369-375)

JENTZSCH, A.: Geologie der Dünen. (in GERHARDT, P.: Handbuch des deutschen Dünenbaues. 1900. S. 1-124)

JENSEN, C.: Meteorol.-optische Messungen auf der Helgoländer Düne und auf Wangerooge. (Ber. d. Strahl.-Klimatolog. Stationsnetzes i. Dt. Nordseegeb. 2, 1928)

JESSEN, O.: Morphologische Beobachtungen an den Dünen von Amrum, Sylt und Röm. (Landeskdl. Forschg. d. Geogr. Ges. München 21, 1914. S. 231-365)

" Die Verlegung der Flußmündungen und Gezeitentiefs an der festländischen Nordseeküste in jungalluvialer Zeit. (Stuttgart 1922)

" Dünen und Klimaschwankungen. (Z. Ges. Erdkde. Berlin, 1935. S. 161-169)

JOHNSON, D. W.: Shore processes and shoreline development. (New York - London 1965)

JÜRGENS, F.: Geschichte des Nordseebades Wangerooge 1804-1954. (Jever 1954)

KALLE, K.: siehe DIETRICH, G. (1957)

KING, C. A.: Beaches and coasts. (London 1959)

KÖRNER, B.: Die Sinkstoffe der Küstengewässer. (Die Küste 4, 1955. S. 5-51)

KÖSTER, E.: Granulometrische und morphometrische Meßmethoden an Mineralkörnern, Steinen und sonstigen Stoffen. (Stuttgart 1964)

KÖSTER, R.: Die Morphologie der Strandwall-Landschaften und die erdgeschichtliche Entwicklung der Küsten Ostwagriens und Fehmarns. (Meyniana. Veröff. Geolog. Inst. Kiel 4, 1955. S. 52-63)

KOHL, J.: Nordwestdeutsche Skizzen. Fahrten zu Wasser und zu Lande in den unteren Gegenden der Weser, Elbe und Ems. (2 Bde., Bremen 1864)

KOLP, O.: Sedimentsortierung und -umlagerung am Meeresboden durch Wellenwirkung. (Peterm. Geogr. Mitt. 102, 1958. S. 173-178)

KOLUMBE, E.: Über die Entwicklung einiger Dünenkleinformen auf Sylt. (Z. f. Geschiebeforschg. 18, 1943. S. 116-125)

KOOLMANN, A. u. WIEMANN, H.: Ostfriesische Geschichte I. (Leer 1951)

KRAMER, J.: siehe HOMEIER, H. (1956)

" Künstliche Wiederherstellung von Stränden unter besonderer Berücksichtigung der Strandaufspülung Norderney 1951/52. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 9, 1957. S. 53-92)

" Sturmflut 1962. (Arbeitsgemeinsch. Sparkassen Ostfrieslands u. Oldenburgs, Norden 1967)

" u. BARDELMEIER, E.: Die Wasserverdriftung über das Juister Watt. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 5, 1953. S. 19-33)

KRANZ, W.: Die Arbeiten und Bauten auf den ostfriesischen Inseln von Borkum bis Spiekeroog. (Jahrb. Hafenbautechn. Ges. 12, 1930/31. S. 174-180)

KRÜGER, W.: Meer und Küste bei Wangeroog und die Kräfte, die auf ihre Gestaltung einwirken. (Z. f. Bauwesen 61, 1911. S. 452-464 u. S. 568-610)

" Die Entwicklung der Harlebucht und ihr Einfluß auf die Außenja-

de. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 30, 1937. S. 197-208)

" Riffwanderung vor Wangeroog. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 30, 1937. S. 243-252)

" Die Küstensenkung an der Jade. (Der Bauingenieur 19, 1938. S. 91-99)

KRÜMMEL, O.: Handbuch der Ozeanographie. (2 Bde., Stuttgart 1907/11)

KUHLBRODT, F. (Hrsg.): Klimatologie der Nordwesteuropäischen Gewässer. (Einzelveröff. Dt. Wetterdienstes, Seewetteramt Hamburg, 4, Teil I u. II, 1954)

KURZAK, G.: siehe THILO, K. (1952)

LANG, A.: Cornelis Anthonisz (+1557), der Begründer der Hydrographie Niedersachsens. (Neues Arch. f. Niedersachs. 6, 1953. S. 219-242)

" Das Juister Watt. (Schr. Wirtschaftswiss. Ges. z. Studium Niedersachsens N. F. A. 57, 1955)

" Historische und kartographische Untersuchungen zur Entwicklung der ostfriesischen Inseln östlich Norderney. (Forschungsstelle Norderney. Arbeiten 3, 1958)

" Die älteste erhaltene Spezialkarte Ostfrieslands, 1564. (Jahrb. Ges. f. bildende Kunst u. vaterländ. Altertümer zu Emden 39, 1959. S. 97-114)

" Kleine Kartengeschichte Frieslands zwischen Ems und Jade. (Arbeitsgemeinsch. Sparkassen Ostfrieslands u. Oldenburgs, Norden 1962)

LEEGE, O.: Ein Beitrag zur Flora der ostfriesischen Inseln. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 18, 1908. S. 313-322)

" Der Memmert. Eine entstehende Insel und ihre Besiedlung mit Pflanzenwuchs. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 22, 1912. S. 283-327)

" Werdendes Land in der Nordsee. (Schr. Dt. Naturkundever. N. F. 2, 1935. S. 1-84)

LEOPOLD, W.: Mellum. Die Bedeutung der Pflanzengesellschaften für das Wachstum der Insel. (Senckenbergiana 14, 1932. S. 410-427)

LEPPIK, E.: Maßnahmen zur Verminderung der Erosionswirkung an der offenen Küste. (Stud. z. Bau- u. Verkehrsprobl. d. Wasserstraßen 1, Teil 2, Offenbach 1949. S. 255-265)

LEVERKINCK, G.: Über den Einfluß des Windes auf die Gezeiten unter besonderer Berücksichtigung Wilhelmshavens und der deutschen Bucht. (Diss. Münster 1915)

LIEBE, T.: Sitzungsbericht über die Flora der ostfriesischen Inseln Wangerooge und Spiekeroog. (Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg 22, 1881. S. 58-62)

LINDERN, G. v.: Ostfriesische Inseln. Mit Ostfriesland, Oldenburg, Bremen und Unterweser. (München 1955)

LINKE, O.: Die Einwirkung des Quellers (Salicornia herbacea L.) auf den Verlandungsvorgang des Wattes im Jadebusen. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 30, 1937. S. 24-32)

" Die Biota des Jadebusenwattes. (Helgoländ. wiss. Meeresunters. 1, 1939. S. 201-248)

" Bericht über die Riff- und Sandwanderungsuntersuchungen am Nordstrand von Norderney. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 4, 1952. S. 39-46)

" Entstehung der ostfriesischen Inseln. (Ostfreesland 36, 1953. S. 6-8)

LOBSIEN, W.: siehe JANSSEN, A. (1925)

LORENZEN, J.: Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee. (Die Küste 3, 1954. S. 18-32)

LOUIS, H.: Allgemeine Geomorphologie. (Lehrbuch der Allgemeinen Geographie, Bd 1. Berlin 1968)

LUDWIG, G.: Beitrag zur Frage des Gleichgewichtes im System Düne-Strand-Vorstrand an der Ostseeküste. (Geolog. Rdsch. 47, 1958. S. 66-71)

LÜDERS, K.: Sediment und Strömung. (Senckenbergiana 14, 1932. S. 387-390)

" Unmittelbare Sandwanderungsmessung auf dem Meeresboden. (Veröff. Inst. f. Meereskde. Berlin N. F. 24, 1933. S. 2-36)

" Über das Wandern der Priele. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 29, 1934. S. 19-32)

" Grundsätzliches über die Beziehungen zwischen Gezeitenstrom einerseits und Wandermaterial und Sediment andererseits. (Ann. d. Hydrogr. 63, 1935. S. 189-195)

" Über das Ansteigen der Wasserstände an der deutschen Nordseeküste. (Zentralbl. d. Bauverwaltung 56, 1936. S. 1386-1789)

" Großrücken mit Schillbedeckung in der Flachsee. (Ann. d. Hydrogr. 64, 1936. S. 335-342)

" Die Messung der Sandwanderung in der Flachsee mit Gezeiten. (Senckenbergiana 18, 1936. S. 212)

" Die Sedimente der Nordsee. (Neues Arch. f. Niedersachsen 3, 1950. S. 213-226)

" Die Wirkung der Buhne H in Wangerooge-West auf das Seegat "Harle". (Die Küste 1, 1952. S. 20-26)

" Die Entstehung der ostfriesischen Inseln und der Einfluß der

Dünenbildung auf den geologischen Aufbau der ostfriesischen Küste. (Probl. d. Küstenforschg. i. Geb. d. südl. Nordsee 5, 1953. S. 1-15)

" Grenzlinien und Gebietsbezeichnungen vor der niedersächsischen Nordseeküste. (Neues Arch. f. Niedersachsen 8, 1955/56. S. 276-285)

" Kleines Küstenlexikon. (Schr. Wirtschaftswiss. Ges. z. Studium Niedersachsens N. F. A. 82, 1967)

LÜNEBURG, H.: Seewasser, Salzgehalt und Schlick. (Die Weser 28, 1954. S. 123-124)

" Die "Außensände". Sandbänke vor den Flußmündungen in der Nordsee. (Die Umschau ü. d. Fortschritte i. Wiss. u. Techn. 58, 1958. S. 726-728)

LUTZE, G.: Spiekeroog vor 100 Jahren. (Spiekeroog 1912)

LUX, H.: Die biologischen Grundlagen der Strandhaferpflanzung und Silbergrasansaat im Dünenbau. (Angew. Pflanzensoziol. 20, 1964. S. 5-53)

MACHATSCHEK, F.: Geomorphologie. (Stuttgart 1973)

MAC MILLAN, D.: siehe RUSSEL, R. (1952)

MAGER, F.: Der Abbruch der Insel Sylt durch die Nordsee. (Veröff. d. Schlesw.-Holst. Uni. Ges. 8, 1927. S. 1-199)

MANSHARD, E.: Bodenuntersuchungen auf der Nordseeinsel Spiekeroog. (Z. f. Pflanzenernährg., Düngung u. Bodenkde. 58, 1952. S. 1-3)

MARKGRAF, H. u. RINTING, P.: Windverhältnisse. (in KUHLBRODT, E.: Klimatologie der Nordwesteuropäischen Gewässer. - Einzelveröff. d. Dt. Wetterdienstes, Seewetteramt Hamburg, 4, Teil II, 1954. S. 27-59)

MC GILL, J.: Selected bibliography of coastal geomorphology of the world. (Los Angeles 1960)

MEIJERING, M. P.: siehe WIEMANN, P. (1963)

" Der Strandweizen in seinem außergewöhnlichen Lebensraum. (Natur u. Museum 94, 1964. S. 319-324)

" Effects of Seawater Inundation on Woods of Spiekeroog Island. (Internat. Journal of Biometeor. 9, 1965. S. 53-59)

" Freshwater Organisms in Biotopes Influenced by Sea-water. (in BOYKO, H.: Saline Irrigation for Agriculture and Forestry. Den Haag 1968. S. 249-260)

" siehe MEYER-DEEPEN, H. (1970)

" Ein neues Naturschutzgebiet 'Spiekeroog-Ostplate'. (Natur u. Museum 101, 1971. S. 424-430)

MEYER-DEEPEN, H. u. MEIJERING, M. P.: Spiekeroog. (Spiekeroog 1970)

MÖLLER, L.: Das Tidegebiet der Deutschen Bucht. (Veröff. Inst. f. Meereskde. N. F. A., H. 23, 1933)

MÜLLER, C. D.: Biocoenotisch-oekologische Untersuchungen verschiedener Wattengebiete an der deutschen Küste. (Diss. Gießen 1957)

MÜLLER, W.: Der Ablauf der holozänen Meerestransgression an der südlichen Nordseeküste und Folgerungen in Bezug auf eine geochronologische Holozängliederung. (Eiszeitalter u. Gegenwart 13, 1962. S. 197-226)

MUNCH-PETERSEN: Über Materialwanderung an der Küste. (Ber. z. 5. Baltischen Hydrolog. Konferenz, Helsingfors 1936)

MUNGENAS, A.: Dynamisch-morphologische Untersuchung der Seegaten, Watten und des Vorlandes im Bereich der ostfriesischen Außenküste. (Diss. Gießen 1934)

NELLNER, J.: Die Nordsee-Insel Spiekeroog. (Emden 1884)

NIEMEIER, G.: Beiträge zur morphologischen Entwicklung der Insel Norderney. (Ber. d. Strahl.-Klimatolog. Stationsnetzes i. Dt. Nordseegeb. 2, 1938. S. 92-110)

" Das Watt Niedersachsens als geographische Landschaft. (Jahrb. Geogr. Ges. z. Hannover, 1957. S. 7-24)

NIEMEYER, W.: Ursprung der Ostfriesischen Inseln. (Ostfreesland 34, 1951. S. 54-57)

OHLING, G.: Die Descriptio Frisiae des Henricus Ubbius aus Ostermarsch vom Jahre 1530. (Feriae Auricanae, Aurich 1933. S. 1-16)

" Die Denkwürdigkeiten des Hieronimus von Grest und die Harlingische Geschichte. (Quellen z. Gesch. Ostfrieslands 3, Aurich 1960)

OHLING, J. (Hrsg.): Ostfriesland im Schutze des Deiches. Beiträge zur Kultur- und Wirtschaftsgeschichte des ostfriesischen Küstenlandes. (4 Bde., Pewsum 1969)

ORDEMANN, W.: Beiträge zur morphologischen Entwicklungsgeschichte der deutschen Nordseeküste mit besonderer Berücksichtigung der dünentragenden Inseln. (Mitt. Geogr. Ges. Jena 30, 1912. S. 15--150)

OSTERMANN, E.: Wandlungen an der ostfriesischen Festlandsküste unter dem Einfluß der Sturmfluten. (Geogr. Rdsch. 13, 1961. S. 455 -463)

OSTFRIESLAND - weites Land an der Nordseeküste. (Dt. Landschaft 10, Essen 1961)

OVERBECK, F.: Wanderdünen und Pflanzenwuchs. (Natur u. Museum 1, 1929. S. 79-80)

" Küstensenkung und Moorforschung. (Probl. d. Küstenforschg. i.

Geb. d. südl. Nordsee 1, 1940. S. 28-35)

PANOV, D.: Genetische Typen der Inseln. (Peterm. Geogr. Mitt. 102, 1958. S. 315-318)

PAUL, K.: Morphologie und Vegetation der Kurischen Nehrung.
I. Gestaltung der Bodenformen in Abhängigkeit von der Pflanzendecke. (Nova Acta Leopoldina N. F. 13, 1944. S. 215-378)
II. Entwicklung der Pflanzendecke von der Besiedlung des Flugsandes bis zum Wald. (Nova Acta Leopoldina N. F. 16, 1953. S. 261-378)

PETERSEN, M.: Der nordfriesische Inselbereich. Natur und Mensch als gestaltende Kräfte. (Ber. z. dt. Landeskde. 17, 1956)

" Sturmflut 1962. Wasserstände an den Küsten der Nordsee. (Die Küste 15, 1967. S. 1-8)

PFEPDMENGES, H.: Die Nordseeinsel Spiekeroog. (Spiekeroog 1928. Mskr.)

PHILIPPSEN, H.: Das Wattenbuch. (Bremen 1925)

PLATE, L.: Verbesserung von Mündungen natürlicher Wasserläufe in ein Meer mit Tidebewegung, mit besonderer Berücksichtigung der Nordsee. (Stud. z. Bau- und Verkehrsprobl. d. Wasserstraßen 1, Teil 2, Offenbach 1949. S. 225-237)

POPKEN, G.: Spiekeroog. (Ostfreesland 18, 1931. S. 143-152)

PRATJE, O.: Die Sedimente der deutschen Bucht. (Wiss. Meeresunters. Abt. Helgoland N. F. 18, 1931. S. 1-126)

" Die Schlickgebiete der Deutschen Bucht und die Beziehungen zwischen Strömung und Sediment. (Geolog. Rdsch. 25, 1934. S. 145-160)

" Das Werden der Nordsee. (Bremer Beitr. z. Naturwiss. 4, 1937. S. 63-94)

" Das Verhalten der Dünen beim Ostwärtswandern der ostfriesischen Inseln. (Geolog. Rdsch. 33, 1942. S. 8-15)

PRECHTL, H.: Geomorphologische Strukturen. (Tüb. Geogr. Studien 17, 1965)

PRIESMEIER, K.: Form und Genese der Dünen des Listlandes auf Sylt. (Diss. Kiel 1969)

REMANE, A. u. SCHLIEPER, C.: Die Biologie des Brackwassers. (Stuttgart 1958)

REIMERS, H.: Eine Landesbeschreibung von Ostfriesland aus der Zeit um 1600. (Jahrb. Ges. f. bildende Kunst u. vaterländ. Altertümer Emden 17, 1910. S. 279-331)

" Balthasar Arends Zeit-, Jahr- und Tagweiser des Harlingerlandes. (Wittmund 1923)

" Balthasar Arends Landesbeschreibung vom Harlingerland. (Wittmund 1930)

REINECK, H.: Haftrippeln und Haftwarzen. Ablagerungsformen von Flugsand. (Senkenbergiana 36, 1955. S. 347)

" Über den Transport des Riffsandes. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 11, 1959. S. 21-38)

" Die Orkanflut vom 16. Februar 1962. (Natur u. Museum 92, 1962. S. 151-172)

REINHARDT, W.: Zum Bodenaufbau des Quartärs, besonders des Holozäns, der ostfriesischen Küste von Juist bis Langeoog. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 9, 1957. S. 11-30)

REINKE, J.: Die Entwicklungsgeschichte der Dünen an der Westküste von Schleswig. (Sitz.-Ber. königl. preuß. Akad. Wiss. Berlin 13, 1903. S. 281-295)

" Die ostfriesischen Inseln. Studien über Küstenbildung und Küstenzerstörung. (Wiss. Meeresunters Abt. Kiel N. F. 10, 1909, S. 1-79)

" Die Entwicklung der Dünen auf den ostfriesischen Inseln. (Kosmos 8, 1911)

RICHTER, K.: Die Eiszeit in Norddeutschland. (Berlin 1937)

" siehe Dechend, W. (1962)

RIDDER, M.: Die Klimaregionen und -typen in Nordwestdeutschland. (Diss. Münster 1935)

ROLL, H.: Die Größe der Meereswellen in Abhängigkeit von der Windstärke. (Einzelveröff. Dt. Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg, 6, 1954)

" Die Meereswellen in der südlichen Nordsee. (Einzelveröff. Dt. Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg, 8, 1956)

RUDLOFF, H.: Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmäßigen Instrumenten-Beobachtung 1670. (Braunschweig 1967)

RÜTHENING, G.: Die Hoheitsgrenze zwischen den Inseln Spiekeroog und Wangeroog. (Jahrb. Gesch. Herzogtums Oldenburg 15, 1906. S. 49-55)

" Urkundenbuch von Jever und Knipshausen. (Oldenb. Urkundenbuch 6, 1932)

RUHNAU, K. (Hrsg.): Die ostfriesische Insel Spiekeroog. (Aurich 1931)

RUSSEL, R. u. MAC MILLAN, D.: Waves and tides. (London 1952)

SAGER, G.: Ebbe und Flut. (Gotha 1959)

SALOMON, A.: Geschichte des Harlingerlandes bis 1600. (Aurich 1965)

SAVILLE, T.: Model study of sand transport along an infinitely long, straight beach. (Trans. Americ. Geoph. Union 31, 1950. S. 555 -565)

SCHÄFER, W.: Mellum, eine Düneninsel der deutschen Nordseeküste. (Abh. Senckenberg. Naturforsch. Ges. Frankfurt 457, 1941. S. 34-51)

" Dangast und die Ufersäume des Jadebusens. (Abh. Senckenberg. Naturforsch. Ges. Frankfurt 457, 1941. S. 52-67)

SCHARF, W.: Die geologischen Grundlagen des Küstenschutzes an der deutschen Nordseeküste. (Schr. Ver. f. Naturkde. d. Unterweser N. F. 4, 1929. S. 1-80)

" siehe DIENEMANN, W. (1931)

SCHELL, R.: Zur Frage der Sandwanderung im Küstengebiet und im Mündungsgebiet von Tideflüssen. (Dt. Wasserwirtschaft 43, 1953. S. 292-302)

SCHIMPER, A.: Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. (Jena 1935)

SCHLIEPER, C.: siehe REMANE, A. (1958)

SCHNATH, G.: Ostfriesische Fürstenbriefe aus dem 17. Jahrhundert. (Abh. u. Vortr. z. Gesch. Ostfrieslands 25, 1929)

SCHOTT, C.: Die Westküste Schleswig-Holsteins. Probleme der Küstensenkung. (Schr. Geogr. Inst. Uni. Kiel 13, 1950)

SCHOTT, G.: Geographie des Atlantischen Ozeans. (Hamburg 1942)

SCHOU, A.: Det marine Forland. (Folia Geographica Danica 4, Kopenhagen 1945)

SCHRADER, E.: Ostfriesland. (Emden 1928)

" Die Landschaften Niedersachsens. (in: Topograph. Atlas Niedersachsen, Hannover 1957)

SCHRATZ, E.: Beiträge zur Biologie der Halophyten. III. Über Verteilung, Ausbildung und NaCl-Gehalt der Strandpflanzen in ihrer Abhängigkeit vom Salzgehalt des Standortes. (Jahrb. wiss. Bot. 83, 1936. S. 113-189)

" u. BEILER, A.: Beobachtungen über Salzverhältnisse und Halophytenvegetation. (Ber. dt. bot. Ges. 55, 1937. S. 506-513)

SCHREITLING, K.: Auswirkungen einer künstlichen Bewässerung auf von Salzwasser überflutete Waldstücke der Insel Spiekeroog. (Schr. d. Naturwiss. Ver. f. Schlesw.-Holst. 36, 1965. S. 18-25)

SCHUCHT, F.: Die Harlebucht, ihre Entstehung und Verlandung. (Abh. u. Vortr. z. Gesch. Ostfrieslands 16, 1911. S. 1-44)

" Die Entstehung der ostfriesischen Inseln. (Mitt. d. naturhist.

Ges. Hannover 13, 1911. S. 139-146)

" Über die Beziehungen zwischen Boden, Vegetation und Klima auf den ostfriesischen Inseln. (Internat. Mitt. f. Bodenkde. 6, 1912. S. 485-532)

SCHÜTTE, H.: Ein neuentstandenes Eiland zwischen Außenjade und Außenweser. (Jahrb. Ver. Naturkde. Unterweser, 1903/04)

" Mellum als Neuland. (Schr.-Reihe Heimat, Natur- u. Vogelschutzver. Wilhelmshaven-Rüstringen 1, 1924)

" (Hrsg.): Wangerooge, wie es wurde, war und ist. (Bremen 1929)

" Über Sedimentbildung an der Küste des norddeutschen Wattenmeeres. (Senckenbergiana 11, 1929. S. 345-352)

" Das Alluvium des Jade-Weser-Gebietes. (Veröff. Wirtschaftswiss. Ges. z. Studium Niedersachsens B, H. 13, 1935)

" Die Entstehung und Verlandung der Harlebucht. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 30, H. 1/2, 1937. S. 209-237)

" Sinkendes Land an der Nordsee? Zur Küstengeschichte Nordwestdeutschlands. (Schr. d. Dt. Naturkdl. Ver. N. F. 9, 1939)

" Geologische und hydrographische Veränderungen im Jade-Weser-Gebiet seit 8000 Jahren. (Dt. Geogr. Blätter 42, 1939. S. 24-30)

" Das Alluvium des Jade-Weser-Gebietes. (Probl. d. Küstenforschg. i. Geb. d. südl. Nordsee 1, 1940. S. 10-15)

SCHUMACHER, W.: Der menschliche Eingriff in die Entwicklung der ostfriesischen Inseln seit 1850. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 30, 1937. S. 99-106)

SCHULTZE, E.: Der Windstau im Tidegebiet. (Der Bauingenieur 19, 1938. S. 100-102)

SCHULZ, R.: Die deutsche Nordsee, ihre Küsten und ihre Inseln. (Monograph. z. Erdkde. 32, Leipzig 1937)

SCHULZE, F.: Dünenbau. (in SOLGER, F.: Dünenbuch, 1910. S. 377-404)

SCHWARZ, A.: Schlickfall und Gezeitenschichtung. (Senckenbergiana 11, 1929. S. 153-155)

SCHWARZBACH, M.: Geologische Tätigkeit des Windes. (in BRINKMANN: Lehrbuch d. Allg. Geologie 1, 1964. S. 250-280)

SEIFERT, G.: Die Steilufer als Materiallieferanten der Sandwanderung. (Meyniana. Veröff. Geol. Inst. Kiel 4, 1955. S. 78)

SELLO, G.: 1. Der Jadebusen, sein Gebiet, seine Entstehungsgeschichte. 2. Der Turm auf Wangerooge. (Varel 1903)

SIEBELS, G.: Führer durch Ostfriesland und seine Seebäder. (Aurich 1958)

SIEBELS, G.: Die Pflanzenwelt der ostfriesischen Halbinsel. (in: OHLING, J.: Ostfriesland im Schutze des Deiches 3, Pewsum 1969. S. 17-101)

SIEBERT, E.: Die Entwicklung des Deichwesens vom Mittelalter bis zur Gegenwart. (in OHLING, J.: Ostfriesland im Schutze des Deiches 2, Pewsum 1969. S. 78-388)

SINDOWSKI, K.: Korngrößen- und Kornformen-Auslese beim Sandtransport durch Wind. (Geolog. Jahrb. 71, 1956. S. 517-526)

" Das Eem im Wattengebiet zwischen Norderney und Spiekeroog, Ostfriesland. (Geolog. Jahrb. 76, 1958. S. 151-174)

" Die geologische Entwicklung des Spiekerooger Wattgebietes im Quartär. (Forschungsstelle Norderney. Jahresber. 11, 1959. S. 11-19)

" Zur Frage der Ostwanderung aller Ostfriesischen Inseln. (Geogr. Rdsch. 13, 1961. S. 448-455)

" Nordseevorstöße und Sturmfluten an der ostfriesischen Küste seit 7000 Jahren. (Geogr. Rdsch. 14, 1962. S. 322-329)

" Geologische Entwicklung von Ostfriesland. (in OHLING, J.: Ostfriesland im Schutze des Deiches 1, Pewsum 1969. S. 3-50)

SOKOLOW, N. A.: Die Dünen. Bildung, Entwicklung und innerer Bau. (Berlin 1894)

SOLGER, F.: Dünenbuch. Werden und Wandern der Dünen, Pflanzen- und Tierleben der Dünen, Dünenbau. (Stuttgart 1910)

STEIN, K.: Zum Problem der Gezeiten. (Geogr. Rdsch. 6, 1954. S. 249-259)

STEINHÄUSER, M.: Die floristische Stellung und Herkunft der Pflanzenwelt der ostfriesischen Inseln. (Diss. Münster 1933)

STEUBING, L.: Beiträge zur Ökologie der Wurzelsysteme von Pflanzen des flachen Sandstrandes. (Z. f. Naturforschg. 4, 1949. S. 114-123)

STOCKS, T.: Eine neue Tiefenkarte der südlichen Nordsee. (Dt. Hydrograph. Z. 9, 1956. S. 265-280)

" Die Gestalt des Nord- und Ostseebodens. (Verhandl. d. Deutschen Geographentages 30, Wiesbaden 1957. S. 367-368)

SUNDBORG, A.: Meteorological and climatological Conditions for the genesis of aeolian Sediments. (Geografiska Annaler 37, 1955. S. 94-111)

THILO, P. u. GOTTFRIED, H.: Wasser- und schiffahrtstechnisches Handbuch für Ostfriesland. (Aurich 1955)

THILO, P. u. KURZAK, G.: Die Ursachen der Abbruchserscheinungen am West- und Nordweststrand der Insel Norderney. (Die Küste 1, 1952. S. 1-20)

THOMAS, H.: Ostfriesland, eine geographische Heimatkunde. (Leer 1952)

THOMPSON, W.: Original structures of beaches, bars and dunes. (Geol. Soc. Americ. Bull. 48, 1937. S. 723-751)

THORADE, H.: Ebbe und Flut. (Berlin 1941)

TOMCZAK, G.: Der Einfluß der Küstengestalt und des vorgelagerten Meeresbodens auf den windbedingten Anstau des Wassers, betrachtet am Beispiel der Westküste Schleswig-Holsteins. (Dt. Hydrogr. Z. 5, 1952. S. 114-131)

" Der Einfluß der Küstengestalt und des vorgelagerten Meeresbodens auf den windbedingten Anstau des Wassers an der deutschen Nordseeküste zwischen Ems und Elbe. (Dt. Hydrogr. Z. 5, 1952. S. 277-284)

TRUSHEIM, F.: Zur Bildungsgeschwindigkeit geschichteter Sedimente im Wattenmeer. (Senckenbergiana 11, 1929. S. 47-55)

" Spülsäume am Meeresstrand. (Natur u. Museum 61, 1931. S. 47-55)

TÜXEN, R.: Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. (Mitt. flor.-soziol. Arbeitsgemeinsch. Niedersachs. 3, 1937. S. 1-170)

" Das System der nordwestdeutschen Pflanzengesellschaften. (Mitt. flor.-soziol. Arbeitsgemeinsch. N. F. 5, 1955. S. 155-176)

VALENTIN, H.: Die Küsten der Erde. (Peterm. Geogr. Mitt. Erg.-H. 246, 1954)

" Gegenwärtige Niveauveränderungen im Nordseeraum. (Peterm. Geogr. Mitt. 98, 1954. S. 103-108)

VAN VEEN, J.: Die unterseeischen Sandwüsten in der Nordsee. (Geolog. d. Meere u. Binnengewässer 2, 1938. S. 62-86)

VOELCKER, J.: Schwermineraluntersuchung der Sande der Dünen von Helgoland. (Geolog. d. Meere u. Binnengewässer 1, 1937. S. 5-21)

VÖLPEL, F.: Studie über das Verhalten weitwandernder Flachsande in der südlichen Nordsee. (Dt. Hydrogr. Z. 5, 1959. S. 64-76)

VOLLBRECHT, K.: Beiträge zum Problem brandender Wellen. (Acta Hydrophysica 2, 1954. S. 10-30)

" Zur Frage der Sedimentbewegung im litoralen Gürtel. (Acta Hydrophysica 2, 1954. S. 31-45)

" Die Beziehungen zwischen Windrichtung und materialversetzender Wellenenergie. (Acta Hydrophysica 4, 1957. S. 49-65)

" Das Verhalten von Meeren und Inseln gegenüber der Einwirkung des exogenen Kräftefeldes. (Geolog. Rdsch. 47, 1958. S. 44-65)

VOSS, J.: Die Nordseeinsel Spiekeroog und das dortige Seebad. (Aurich 1850)

WACHS, H.: Die Sieben Ostfriesen. (Kosmos, Stuttgart 1952. S. 196-203)

WALTER, W.: Dünenstudien im Schwanheimer Wald bei Frankfurt. Über den Einfluß elektrischer Raumladungen bei Flugsanden und ihre Bedeutung für die Dünenbildung. (Rhein.-Main. Forschg. 28, 1950)

" Neue morphologisch-physikalische Erkenntnisse über Flugsand und Dünen. (Rhein.-Main. Forschg. 31, 1951)

WALTHER, F.: Die Gezeiten und Meeresströmungen im Norderneyer Seegat. (Die Bautechnik 12, 1934. S. 141-153)

" siehe GAYE, J. (1933/36)

" siehe GAYE, J. (1935)

" Grundlagen für die Entwicklung der Meeresströmungen in den Seegaten und Wattgebieten der ostfriesischen Küste. (Die Wasserwirtschaft 40, 1949/50. S. 1-9; S. 44-51)

WENDEHORST: Die Pflanzenwelt der Nordseeinsel Trischen. (Schr. Naturwiss. Ver. f. Schlesw.-Holst. 17, 1926. S. 233-242)

WESSEL, A.: Die Nordsee-Insel Spiekeroog. (Aurich 1863)

WESTHOFF, V.: Die Dünenbepflanzung in den Niederlanden. (Angewandte Pflanzensoziol. 17, 1961. S. 14-21)

WIEMANN, H.: siehe KOOLMANN, A. (1951)

WIEMANN, P. u. MEIJERING, M.: Auswirkungen von Orkanfluten auf Sanddeiche und ihren Pflanzenbewuchs. (Natur u. Museum 93, 1963. S. 418-428)

" u. DOMKE, W.: Pflanzengesellschaften der ostfriesischen Insel Spiekeroog. (Mitt. Staatsinst. Allgem. Bot. Hamburg 12, 1967. S. 191-353)

WILDVANG, D.: Der tiefere Untergrund der ostfriesischen Nordseeinseln. (Veröff. Naturforsch. Ges. Emden, 1936. S. 1-52)

" Die Geologie Ostfrieslands. (Abh. Preuß. Geolog. Landesanst. N. F. 181, 1938. S. 1-211)

" Die Bedeutung von Sackung und Tektonik bei der neuzeitlichen Senkungstheorie. (Probl. d. Küstenforschg. i. Geb. d. südl. Nordsee 1, 1940. S. 16-27)

WINCKLER, H.: Sedimentbildung an der deutschen Nordseeküste. (Zentralbl. f. Geolog. u. Paläontolog. 1936. S. 174-189)

WINDBERG, F.: Die Dünen von Juist. (Ann. d. Hydrogr. 59, 1931. S. 53-63)

" Die Entstehung der Insel Memmert. (Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 30, 1937. S. 54-65)

WIRTZ, D.: Die Beziehungen zwischen submariner Abtragung und Sandwanderung an der Küste Pommerns. (Mitt. Geolog. Staatsinst. Ham-

burg 18, 1949. S. 47-73)

WOERCKEN, C.: Deiche und Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste. (Bremen 1924)

" Die großen Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste bis zum Ausgang des Mittelalters. (Probl. d. Küstenforsch. i. Geb. d. südl. Nordsee 2, 1941. S. 91-97)

" Die Meeresbuchten an der deutschen Nordseeküste. (Arch. f. Landes- u. Volkskde. v. Niedersachsen 18, 1943. S. 369-405)

WOHLENBERG, E.: Die Grüne Insel in der Eidermündung. Eine entwicklungsphysiologische Untersuchung. (Arch. Dt. Seewarte 50, 1931, S. 1-34)

" Das Andelpolster und die Entstehung einer charakteristischen Abrasionsform im Wattenmeer. (Wiss. Meeresunters. Abtl. Helgoland N. F. 19. 1933. S. 1-10)

" Über die tatsächliche Leistung von Salicornia herbacea L. im Haushalt der Watten. (Wiss. Meeresunters. Abtl. Helgoland N. F. 19, 1933. S. 11-33)

" Biologische Kulturmaßnahmen mit dem Queller (Salicornia herbacea L.) zur Landgewinnung im Wattenmeer. (Westküste 1, H. 2, 1938. S. 52-104)

" Entstehung und Untergang der Insel Trischen. (Mitt. Geogr. Ges. Hamburg 49, 1950. S. 158-187)

WOLDSTEDT, P.: Norddeutschland und die angrenzenden Gebiete im Eiszeitalter. (Stuttgart 1955)

WRAGE, W.: Das Wattenmeer zwischen Trischen und Friedrichskoog. (Arch. Dt. Seewarte 48, 1930)

" Strombänke als Flutbildungen und eigenartige Oberflächenformen im Schlick. (Ann. d. Hydrogr. 59, 1931. S. 233-240)

" Luftbild und Wattforschung. (Petern. Geogr. Mitt. 102, 1958. S. 6-12)

WÜST, G.: Werdendes Land am Meer. (Veröff. Inst. f. Meereskde., Berlin 1937)

WYRTKI, K.: Der Einfluß des Windes auf die Wasserbewegung durch die Straße von Dover. (Dt. Hydrogr. Z. 5, 1952. S. 21)

" Der Einfluß des Windes auf den mittleren Wasserstand der Nordsee und ihren Wasserhaushalt. (Dt. Hydrogr. Z. 5, 1952. S. 245-252)

" Die Bilanz des Längstransportes in der Brandungszone. (Dt. Hydrogr. Z. 6, 1953. S. 65-76)

ZILLMER, E.: Der Gestaltwandel der deutschen Nordseeküste. (Geogr. Rdsch. 6, 1954. S. 4-12)

B. Karten, Kartenwerke und -beschreibungen:

AMT FÜR BODENFORSCHUNG: Geologische Karte von Nordwestdeutschland. 1 : 300.000. (1951)

ANONYMUS: Weserkarte. (um 1602)

" Plan des Anwuchses und der Watten im Bereich der östlichen Harlebucht. (um 1655)

" Skizze des Wangerooger Wattes. (2. Hälfte 17. Jahrh.)

" Brouillon von dem Eylande Spikroge. (1738)

ANTHONISZ, C.: Caerte van oostlant. (1543/60)

" Onderwijsinge vander Zee. (1557)

" Dit is die Caerte vander Zee. (1561)

BAUAMT FÜR KÜSTENSCHUTZ, Norden: Insel Spiekeroog, Ostteil. Höhen- und Lageplan. 1 : 10.000. (1969 u. 1970, unveröffentl.)

BEHRENS: Wangerooge. (1787)

BLAEU: Licht der Zeevaert. (1608, engl. Ausgabe 1612)

" Zeespiegel. (1623)

BOSSE: Charte von den Mündungen der Weser, Jahde und Elbe. (1840)

BRÜNING, K.: Atlas Niedersachsen. (1934)

CAMP, W.: Neue geographische Spezial-Karte von dem Fürstenthum Ostfries- und dem Harrlingerlande. (1804)

" Neue geographische Charte von den Fürstenthum Ostfries- und Harrlingerland. (1804)

CIBPOVIUS, J.: Charte von Wangerooge. (1730)

COLDEWEY, F.: Tabula Frisiae orientalis. (1730)

DEUTSCHES HYDROGRAPHISCHES INSTITUT: Amtliche Seekarten. Die ostfriesischen Inseln. 1 : 100.000; D 89, Juist bis Wangerooge. 1 : 50.000; D 2, Mündungen der Jade und Weser. 1 : 50.000. (siehe REICHS-MARINE-AMT BERLIN)

" Atlas der Gezeitenströme für die Nordsee, den Kanal und die Britischen Gewässer. (1956)

" Zahlreiche Arbeitskarten der Otzumer Balje und der Harle. Unterschiedl. Maßstäbe. (zu verschiedenen Zeitpunkten erstellt)

DOMKE, W.: siehe WIEMANN, P. (1959)

DUNKER: Carte der Insel Wangerooge. (1799)

EMMIUS, U.: Typus Frisiae orientalis. (1595)

" Typus Frisiae orientalis absolutissimus. (1616)

FABRICIUS, D.: Nie vnd warhafftige Beschrivinge des Ostfreslandes. (1589)

" Oostfrieslandt. (1592/1613)

FALKE: Einmessung des Abstandes Spiekeroog-Wangerooge. (1664)

FLORIANUS, J.: Frisia orientalis (1595)

FORSCHUNGSSTELLE NORDERNEY: Spiekerooger Watt und angrenzende Gebiete. Wattkarten. 1 : 10.000 bzw. 1 : 5.000. (1958/62)

" Niedersächsische Küste. Topographische Wattkarte, Nr. 17 bis 21. 1 : 25.000. (1958/60)

" Niedersächsische Küste. Historische Karte, Nr. 7. 1 : 50.000. (1961)

GENERAL-DIRECTION DES WASSERBAUES ZU HANNOVER, KGL.: Karte der Küste der Nordsee zwischen Ameland und der Elbe. 1 : 100.000. (1866)

GERRITSZ: De Zeevaert ende onderwijsinge der gantscher oostersche ende Westersche Zee-vaer-water. (1575/88)

GRAVE: Plan van Wittmunder und Jeversche strydige Grentze. (1647)

s'GROOTEN, C.: Pars Phrisiae orientalis et occidentalis. (1564/73)

" Phrysiae orientalis descriptio. (1579/92)

GROTELÜSCHEN, W. u. MUUSS, U.: Luftbildatlas Niedersachsen. (1967)

GUILET, M.: Wad en Buitenkaart van het Vlie tot Hamburg. (1708)

HAFYEN, A.: Amstelredamsche zeecaerten. (1585/1613)

HOFFMEISTER u. SCHNELLE: Klimaatlas von Niedersachsen. (1945)

HONARD: Karte von der "Goldenen Linie", Grenzverhandlungen zwischen Wittmund und Jever. (1667)

HORN, VON: Situationszeichnung von der Otzumerbalje nebst Umgebung. (1848)

HORST: Charte von der Insul Spiecker-Oog. (1738)

HASE: Karte der Insel Wangerooge. (1829)

JANSSONIUS, J.: Nova Germaniae descriptio. (1632)

" De gantsche Vaert van Amsterdam over de Watten tot de stadt

Hamborch. (1634)

" Cirkulus Westfalicus sive Germaniae Inferioris. (1640)

" Novus Atlas. (1657)

KOENIGSHAVEN: Dynastia Jeverensis. (1740)

KOTSCH, J.: Grundriß von der Insel Wangerooge. (1778)

LANG, A.: Historisches Seekartenwerk der Deutschen Bucht.

LASIUS: Wangerooge. (1825)

LE COQ, K.: Karte von den Küsten-Inseln Borkum bis Wangeroog. (in: Atlas von Westfalen, 1808)

MAGOTT, E.: Generalkarte zu den Specialkarten derer Ostfries- und Harlingerländischen Deiche nebst Situation der Inseln. (1751/78)

MEIJERING, M. P. u. REDFERN, J.: Spiekeroog zur Zeit der Orkanflut vom 16. Februar 1962. 1 : 5.000. (1962)

MENTZ, C.: Karte von den Mündungen der Jade und Weser. (1793)

" Karte vom Herzogtum Oldenburg. (1803)

MERCATOR, G.: Emden et Oldenborch comitatus. (1585)

MICHAELIS, L.: Frisiae orientalis nova et exacta descriptio. (1579/80)

MIDDAGTHEN: Nieuwe Lootsmans Wegwyzer. (1713)

MÜNTINCK, G.: Karte von Oldenburg und Delmenhorst. (1645)

MUSCULUS, J.: Nova comitatus Oldenburg ac Delmenhorst cum dynastiis Jeveren. et Knyphaus. descriptio. (1630/49)

MUUS, U.: siehe GROTELÜSCHEN, W. (1967)

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESVERWALTUNGSAMT, Landesvermessung, Hannover: Topographische Karte. 1 : 25.000. - Bl. 2211, Langeoog-Ost; Bl. 2212, Spiekeroog; Bl. 2213, Wangerooge. (siehe PREUSSISCHE LANDESAUFNAHME)

ORTELIUS, A.(?): Oost ende West Vrieslands Beschryvinghe. (1568)

PAPEN, A.: Karte von den Inseln Borkum bis Wangeroog und der gegenüberliegenden Küste von Ostfriesland und Oldenburg. (1841/42)

PREUSSISCHE ADMIRALITÄT, KGL.: Übersichtskarte der Jade-, Weser- und Elbemündung. (1859)

PREUSSISCHE LANDESAUFNAHME u. Nachfolger NIEDERSÄCHSISCHES LANDESVERWALTUNGSAMT, Landesvermessung, Hannover:

Topographische Karte. 1 : 25.000

Bl. 2211, Langeoog-Ost. (1892, 1940, 1955, 1964)

Bl. 2212, Spiekeroog. (1892, 1906, 1917, 1930, 1946, 1955, 1960, 1966)

Bl. 2213, Wangerooge. (1892, 1938, 1952, 1955, 1960, 1966)

REDFERN, J.: siehe MEIJERING, M. P. (1962)

REICHSAMT FÜR BODENFORSCHUNG: Geotektonische Übersichtskarte von Nordwestdeutschland. 1 : 100.000. (1947/48)

REICHS-MARINE-AMT BERLIN u. Nachfolgerin DEUTSCHES HYDROGRAPHISCHES INSTITUT:

Amtliche Seekarten

Bl. Die ostfriesischen Inseln. 1 : 100.000. (1880, 1897, 1907, 1912, 1923) - Fortsetzung: Bl. D 89, Juist bis Wangerooge. 1 : 50.000. (1935, 1943, 1948, 1952, 1961, 1966)

Bl. D 2, Mündungen der Jade und Weser. 1 : 50.000. (1912, 1918, 1944, 1949, 1953, 1958, 1962)

SAGEP, G.: Atlas der Elemente des Tidenhubs und der Gezeitenströme für die Nordsee, den Kanal und die Irische See. (1963)

SCHNELLE: Klimaatlas von Niedersachsen. (1945)

SCHRADER, E.: Die Landschaften Niedersachsens, Topographischer Atlas. (1965)

SEEHYDROGRAPHISCHER DIENST DER DDR: Atlas der klimatologischen, geographischen und ozeanographischen Faktoren der Nordsee und der angrenzenden Gewässer. (1953)

SEEWARTE HAMBURG, DEUTSCHE: Atlas der Gezeitenströmungen für das Gebiet der Nordsee, des Kanals und der britischen Gewässer. (1936)

TAAKS: Peilkarten der Ostfriesischen Küste, Langeoog bis Wangerooge. (1859/61)

" Seekarten der Ostfriesischen Küste. (1864)

TANNEN: Insel Wangerooge. (1755)

VERMESSUNGS- UND KATASTERVERWALTUNG DER REGIERUNG AURICH: Insel Spiekeroog, "Die grüne Insel". 1 : 5.000 u. 1 : 25.000. (1951)

VIEHT, E.: Die Insel Wangerooge nach dem Sturm vom 25. und 26. Januar. (1788)

VOOGT, C.: De nieuwe groote Lichtende Zee-Fakkel. (1796)

VOSS (i. Auftr. v. PAPEN): Detailkarten von Langeoog, Spiekeroog und den Watten. (1841)

WAGHENAER, L.: Beschrijvinghe van de see Custen van Oost Vrieslandt, met allen ondiepten en bakenen. (1584)

" Spieghel der Zeevaert. (1584/85)

" Thresoor der Zeevaert. (1592)

WASSER- UND SCHIFFAHRTSAMT NORDEN: Zahlreiche Arbeitskarten verschiedener Strand- und Vorstrandabschnitte von Langeoog-Ost und Spiekeroog sowie der Otzumer Balje und Watten. Unterschiedl. Maßstäbe. (in regel- u. unregelmäßigen Zeitabständen seit letztem Drittel 19. Jahrh.)

WASSER- UND SCHIFFAHRTSAMT WILHELMSHAVEN: Zahlreiche Arbeitskarten verschiedener Strand- und Vorstrandabschnitte von Wangeroog-West sowie der Harle und Watten. Unterschiedl. Maßstäbe. (in regel- u. unregelmäßigen Zeitabständen seit letztem Drittel 19. Jahrh.)

WIEMANN, P. u. DOMKE, W.: Vegetationsübersicht der ostfriesischen Insel Spiekeroog. 1 : 5.000. (1959)

WILDVANG, D.: Ostfriesland. 1 : 200.000. (o. Jahr)

C. Luftbilder:

HANSA LUFTBILD GmbH, Abt. Berlin:

Luftbildplan Spiekeroog. 1 : 25.000. (1938)

Luftbildplan Langeoog-Ost. 1 : 25.000. (1938)

HANSA LUFTBILD GmbH, Münster:

Luftbildplan Langeoog, Spiekeroog, Wangeroog. 1 : 25.000. (1951)

Luftbildplan Spiekeroog, mit Watten u. Teilen der Nachbarinseln. 1 : 50.000. (1951)

Luftbildplan Langeoog, Spiekeroog, Wangeroog. 1 : 25.000. (1960)

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESVERWALTUNGSAMT, Landesvermessung, Hannover:

Bildflug 225, Wattaufnahme Spiekeroog. 1 : 25.000. (1963)

Bildflug 419, Ostfriesische Küste und Watten. 1 : 25.000. (1966)

Bildflug 505, Spiekeroog. 1 : 7.000. (1968)

Bildflug 730, Spiekeroog. 1 : 12.000. (1971)

Bildflug 1086, Ostfriesische Inseln. 1 : 28.000. (1974)

VERMESSUNGS- UND INGENIEURBÜRO RÜPKE, Hamburg:

Bildflug Ostfriesische Inseln, Spiekeroog. 1 : 29.000. (1969)

KÄUFLICHE ANSICHTSKARTEN, vor allem von SCHÖNING & CO, Lübeck, und CRAMERS KUNSTANSTALT, Dortmund:

Luftbild-Schrägaufnahmen der Insel Spiekeroog mit und ohne Ostplate. Unterschiedl. Flughöhen. (Aufnahmedatum fehlt in der Regel)

L e b e n s l a u f

Am 1. 5. 1941 wurde ich als Sohn des Landwirts Heinrich Eckel und seiner Ehefrau Marie, geb. Dingler, in 3549 Wolfhagen-Istha geboren.

Ab November 1947 besuchte ich die Volksschule in Istha und ab April 1952 die Städtische Realschule in Wolfhagen. Nach der Mittleren Reife wechselte ich 1958 in das Neusprachliche Gymnasium der Wilhelm-Filchner-Gesamtschule in Wolfhagen über. Dort machte ich im Februar 1962 das Abitur.

Vom Sommersemester 1962 an studierte ich an der Philipps-Universität in Marburg die Fächer Geographie, Deutsch, Kunstgeschichte und Erziehungswissenschaften. Im Februar 1966 legte ich die Vorprüfung für das Lehramt am Gymnasium ("Philosophikum") ab. Anschließend setzte ich das Studium an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster fort. Nach dem Rigorosum vertrat ich eine Assistentenstelle an der Pädagogischen Hochschule Westfalen-Lippe, Abteilung Bielefeld ("Geographie und ihre Didaktik"). Im Mai 1976 bestand ich an der Westfälischen Wilhelms-Universität die Erste Staatsprüfung für das Lehramt am Gymnasium (Geographie, Deutsch, Kunstgeschichte).

Meine akademischen Lehrer waren

im Fach Geographie:
Frau Professor Leister sowie die Herren Professoren Blüthgen, Born, Hempel, Lauer und Schott;

im Fach Deutsch:
die Herren Professoren Arntzen, Foerste, Goossens, Hofmann, Kunz, Schmitt und Steiner;

im Fach Kunstgeschichte:
die Herren Professoren Hamann-Mac Lean, Kauffmann, Noehles und Usener;

im Fach Erziehungswissenschaften:
Frau Professor Dorer sowie die Herren Professoren v. Bracken, Düker, Froese und Reich.